



UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA
Faculdade de Ciências e Tecnologia
Departamento de Engenharia Mecânica e Industrial

GESTÃO *SOFT* DA MANUTENÇÃO DE AUTOMOTORAS
UQE-S3500

APLICAÇÃO DO MODELO DE RISCOS PROPORCIONAIS

Marco Alexandre Pires de Oliveira Bento

Dissertação apresentada na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa para obtenção do grau de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial.

Orientador: Professor Doutor José António Mendonça Dias

Lisboa

Setembro, 2010

Aos meus Pais

Aos meus amigos

AGRADECIMENTOS

As minhas primeiras palavras deste campo têm como destinatários os meus pais. Obrigado pelo apoio, pela constante motivação e força de vontade. Espero ter correspondido positivamente ao vosso sacrifício para tornar este sonho possível.

De seguida, gostaria de agradecer a paciência, compreensão e disponibilidade no que respeita á orientação científica deste trabalho, na pessoa do Prof. Dr. José António Mendonça Dias.

Um muito obrigado à equipa de engenharia da EMEF, Manutenção de Lisboa, que nunca deixou de me apoiar, dando todas as informações que vieram a ser essenciais para o desenrolar deste trabalho, nas pessoas do Eng.º José Baptista, Eng.º Maia Pires, Eng.º Jorge Campo e Eng.º Paulo Neves.

Agradeço à minha família e amigos, aos quais muitas vezes privei da sua companhia para me dedicar a este trabalho.

Por último, um obrigado a todos aqueles que não referi e que directa ou indirectamente me ajudaram a concretizar este sonho.

RESUMO

As automotoras UQE-Série3500, pertencentes à CP (Comboios de Portugal), constituem os equipamentos onde se pretende ilustrar a aplicação do PHM (*Proportional Hazards Modelling*). Esta aplicação foi realizada na EMEF (Empresa de Manutenção de Equipamento Ferroviário – Manutenção de Lisboa) onde, as referidas automotoras, são sujeitas a intervenções sistemáticas segundo um denominado “Ciclo de Manutenção” especificado pela empresa.

A investigação realizada desenvolveu-se em três fases. Na primeira fase, o equipamento (automotora) foi dividido em nove Sistemas Reparáveis (SR) e seus correspondentes subsistemas. O registo histórico (Janeiro 2000 a Março 2009) foi categorizado e dividido mediante as falhas que o compunham imputando-se, cada uma das falhas, ao respectivo SR. Das falhas estudadas foram consideradas aquelas que provocaram a imobilização em serviço da automotora e que podem diminuir a Fiabilidade do Serviço. Com esta base de dados foi avaliado o MTBF (*Mean Time Between Failures*) de cada automotora, para os casos em que o seu comportamento seguia um PPH (Processo de Poisson Homogéneo). Em presença de ROCOF (*Rate of Occurrence of Failures*) decrescente foram também estimados, de forma determinística, os tempos entre falhas.

Na segunda fase aplicou-se o PHM o qual permitiu identificar quais os componentes das automotoras mais críticos ou sejam aqueles que apresentavam um maior Risco de Falha. Estas duas fases constituem a vertente *Soft* da Gestão da Manutenção.

A vertente *Hard* poderá vir a ser executada de acordo com um programa de manutenção resultante da análise da primeira e segunda fases e posterior modelação do tempo de vida de um dos componentes que apresentam maior risco de falha. Prevê-se que desta aplicação possam resultar melhorias significativas na Fiabilidade do Serviço das automotoras.

ABSTRACT

The railcars belonging to CP (Trains of Portugal), equipment which are intended to illustrate the application of PHM (*Proportional Hazards Modelling*). This study was conducted in EMEF (Company Railroad Equipment Maintenance - Maintenance of Lisbon) where these railcars are subject to systematic interventions a so-called "Duty Cycle" specified by the company.

The research developed in three phases. In the first phase, the equipment (EMU) was divided into nine Repairable Systems (SR) and their corresponding subsystems. The historical record (January 2000 to March 2009) was categorized and divided by the failures that comprised applying, each of the failures, the respective SR. From failures studied were considered those that caused the service immobilization and can reduce the exploration reliability. With this database we evaluated the MTBF (Mean Time Between Failures) for every railcar, for cases in which their behavior followed a PPH (Homogeneous Poisson Process). In the presence of descending ROCOF (Rate of Occurrence of Failures) were also estimated in a deterministic way, the times between failures.

In the second phase we applied the PHM which allowed us to identify which components of the railcars are more critical or those with a higher failure risk. These two phases are the *Soft* sides of Maintenance Management.

Hard component could be implemented within a maintenance program resulting from the analysis of the first and second phases and subsequent modeling of the lifetime of a component with a higher risk of failure. It is expected that this application may result in significant improvements in reliability of service in railcars.

ACRÓNIMOS

AFNOR	Associação Francesa de Normalização
AUX	Sistema Reparável Auxiliares
CIM	Ciclo de Manutenção
CLM	Sistema Reparável Climatização
COM	Sistema Reparável Comando e Controlo
CP	Comboios de Portugal
CPR	Contactora Principal
CTC	Sistema Reparável Caixa Tracção e Choque
CVL	Sistema de <i>Convel</i>
DP	Disjuntor Principal
DTB	Diário Técnico de Bordo
EMEF	Empresa de Manutenção de Equipamento Ferroviário
EP	Freio Electropneumático
GFF	Grupo Oficinal da Figueira da Foz
GOB	Grupo Oficinal do Barreiro
GOE	Grupo Oficinal do Entroncamento
GOP	Grupo Oficinal do Porto
GRD	Graduador
GTO	<i>Gate Turn Off</i>
HM	Sistema de Segurança Homem Morto
IID	Independentes e Identicamente Distribuídos
IMTT	Instituto da Mobilidade e dos Transportes Terrestres
IN	Incidente
INP	Sistema Reparável Informação ao Passageiro
IS	Inspeção de Serviço
IT	Instruções de Trabalho
MC	Manutenção do Centro

ML	Manutenção de Lisboa
MN	Manutenção do Norte
MRM	Manutenção e Reparação de Mercadorias
MRP	Modelo de Riscos Proporcionais
MS	Manutenção do Sul
MTBF	<i>Mean Time Between Failures</i>
MTTR	<i>Mean Time to Recovery</i>
PAF	Sistema Reparável Produção de Ar e Freio
PHM	<i>Proportional Hazard Modeling</i>
PMP	Plano de Manutenção Preventiva
PPH	Processo de Poisson Homogéneo
PPNH	Processo de Poisson Não Homogéneo
PQ	Plano da Qualidade
PTE	Sistema Reparável Potência Eléctrica
PTF	Pantógrafo
RAC	Reabilitação por Acidente
RAV	Reabilitação por Avaria
ROCOF	<i>Rate of Occurrence of Failures</i>
ROS	Sistema Reparável Rolamento e Suspensão
RSH	Resistência Shunt
R1/2/3	Reparação de Nível 1/2/3
SCAI	Sistema de Classificação de Avarias e Incidentes
SCFM	Sistema de Codificação da Função de Material
SCI	Sistema Reparável Segurança na Circulação
SCL	Serviços Centrais de Lisboa
SF	Sistema de Freio
SR	Sistema Reparável
SQ	Sistema da Qualidade
TP	Transformador Principal

TPM	<i>Total Productive Maintenance</i>
UME	Unidade Múltipla Eléctrica
UQE	Unidade Quadrupla Eléctrica
UTE	Unidade Tripla Eléctrica
VD/V1/V2/V3/V4/V5	Visita Diária/Visita de Nível 1/2/3/4/5

SIMBOLOGIA

$\hat{\lambda}$	Coeficiente do modelo de <i>Crow</i>
β	Coeficiente do modelo de <i>Crow</i>
π_1	Coeficiente para calcular θ_i , modelo de <i>Crow</i>
π_2	Coeficiente para calcular θ_s , modelo de <i>Crow</i>
H_0	Hipótese nula, teste de Laplace
H_1	Hipótese alternativa, teste de Laplace
θ_i	Limite inferior do intervalo de confiança para o MTBF, modelo de <i>Crow</i>
θ_s	Limite superior do intervalo de confiança para o MTBF, modelo de <i>Crow</i>
α	Nível de significância do teste estatístico
n_f	Número total de falhas para um determinado período
λ	Taxa de falhas
ρ	Taxa de falhas, modelo de <i>Crow</i>
z_0	Teste de Laplace
μ	Taxa de reparação ou taxa de manutibilidade
τ_i	Tempo de vida no momento da falha
T	Tempo de duração do teste, “modelo de <i>Crow</i> ”
T_0	Tempo de duração do teste, teste de Laplace
θ	Tempo médio de bom funcionamento (MTBF), modelo de <i>Crow</i>

z_α	Valor da normal padronizada para o nível de significância α , teste de Laplace
$F; (t)$	Função de probabilidade de falha
$(\beta; \eta)$	Parâmetros de forma e escala da função distribuição de <i>Weibull</i>

Índice Geral

CAPÍTULO 1	1
INTRODUÇÃO	1
1.1. Âmbito da Dissertação	1
1.2. Objectivos da Dissertação	3
1.3. Estrutura da Dissertação	3
1.4. Caracterização/Apresentação da EMEF	5
1.4.1. Áreas de Actividade	7
1.4.1.1. Fabrico de Vagões	8
1.4.1.2. Reparação	8
1.4.1.3. Reabilitação	9
1.4.1.4. Manutenção	12
CAPÍTULO 2	16
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1. Introdução	16
2.2. Manutenção	16
2.2.1. Resumo Histórico da Manutenção	17
2.2.2. Função da Manutenção	19
2.3. Tipos de Manutenção	20
2.3.1. Manutenção Preventiva	21
2.3.2. Manutenção Correctiva	23
2.3.3. Manutenção Emergência	23
2.4. Plano de Manutenção	23
2.4.1. Objectivos e Aplicabilidade	24
2.4.2. Implementação no Contexto Real da EMEF	25
2.4.2.1. Ciclo de Manutenção	26
2.4.2.2. Plano de Qualidade	27
2.4.2.3. Instruções de Trabalho	29
2.5. Informação Censurada e Não Censurada	30
2.6. Sistemas Reparáveis	31
2.6.1. Taxa de Falhas	32
2.7. Teste de <i>Laplace</i>	33

2.8. Processos de <i>Poisson</i>	35
2.8.1. Processos de <i>Poisson</i> Não Homogéneos (PPNH).....	36
2.8.1.1. Sistemas com Taxa de Falhas Decrescente (Modelo de <i>Crow</i>).....	36
2.8.1.2. Sistemas com Taxa de Falhas Crescente	38
2.8.2. Processos de <i>Poisson</i> Homogénios (PPH) – <i>MTBF</i>	39
2.9. Distribuição de Weibull	41
2.10. Modelos de Riscos Proporcionais (<i>Proportional Hazard Modeling</i>).....	43
2.10.1. Descrição do Modelo	43
2.10.2. Validação do Modelo (Resíduos de <i>Cox-Snell</i>)	45
CAPÍTULO 3.....	46
DESCRIÇÃO DOS SISTEMAS REPARÁVEIS.....	46
3.1. Introdução.....	46
3.2. Sistemas Reparáveis.....	47
3.2.1. Rolamento e Suspensão - ROS	47
3.2.2. Caixa, Tracção e Choque - CTC	50
3.2.3. Produção de Ar e Freio - PAF.....	53
3.2.3.1. Sistema de Freio - SF.....	54
3.2.4. Potencial Eléctrica - PTE	56
3.2.4.1. Transformador Principal - TP	56
3.2.4.2. Graduador - GRD.....	57
3.2.4.3. Pantógrafo - PTF.....	57
3.2.4.4. Disjuntor Principal - DP	58
3.2.4.5. Resistência <i>Shunt</i> - RSH.....	58
3.2.4.6. Contactor Principal - CPR	58
3.2.5. Comando e Controlo - COM.....	58
3.2.5.1. Equipamento de Comando e Controlo.....	59
3.2.6. Climatização - CLM.....	62
3.2.7. Informação ao Passageiro - INP.....	63
3.2.8. Auxiliares - AUX	64
3.2.9. Segurança na Circulação - SCI.....	66
3.2.9.1. Sistema Homem Morto - HM	67
3.2.9.2. Sistema de CONVEL - CVL	68

CAPÍTULO 4	73
ANÁLISE DOS SISTEMAS REPARÁVEIS	73
4.1. Introdução.....	73
4.2. Caracterização das Falhas	74
4.2.1. Tipos de Falhas Estudadas	74
4.3. Base de Dados e Modelação das Taxas de Falha	76
4.3.1. Automotora UQE – 3520	77
4.3.2. Automotora UQE – 3521	81
4.3.3. Automotora UQE – 3523	85
4.3.4. Automotora UQE – 3527	89
4.3.5. Automotora UQE – 3529	92
4.3.6. Automotora UQE – 3530	96
4.4. Sistemas Reparáveis Críticos	100
CAPÍTULO 5	103
MODELO DE RISCOS PROPORCIONAIS	103
5.1. Introdução.....	103
5.2. Modelo de Riscos Proporcionais.....	103
5.3. Identificação e Tratamento das Variáveis Significativas	106
CAPÍTULO 6	112
CONCLUSÕES E SUGESTÕES	112
BIBLIOGRAFIA	115

Índice de Figuras

Figura 1.1 – Função de Manutenção	2
Figura 1.2 – Estabelecimento da EMEF em Novembro de 1994	6
Figura 1.3 – Áreas de actividade da EMEF	7
Figura 1.4 – Tipos de reparações existentes na EMEF	9
Figura 1.5 – UME/UTE velha	10
Figura 1.6 – UME/UTE reabilitada	11
Figura 1.7 – Allan velha	11
Figura 1.8 – Allan reabilitada	12
Figura 2.1 – Síntese da aplicação das metodologias de manutenção	18
Figura 2.2 – Evolução da manutenção	19
Figura 2.3 – Classificação dos tipos de manutenção	21
Figura 2.4 – Constituição do sistema de qualidade	26
Figura 2.5 – Divisões existentes nas instruções de trabalho	29
Figura 2.6 – Exemplo de um processo estocástico pontual	32
Figura 2.7 – Distribuição da normal reduzida	34
Figura 3.1 – Automotora UQE-S3500 propriedade da CP - Comboios de Portugal	46
Figura 3.2 – Bogie motor	49
Figura 3.3 – Representação do sistema de freio a ar comprimido	55
Figura 3.4 – Funcionamento do sistema de freio	55
Figura 3.5 – Pantógrafo	57
Figura 3.6 – Disjuntor principal	58
Figura 3.7 – Sistema de <i>CONVEL</i> presente na via	68
Figura 3.8 – Sistema de <i>CONVEL</i> presente na unidade motora	69

Figura 3.9 – Baliza em plena via	70
Figura 3.10 – Componente antena do sistema reparável SCI.....	71
Figura 3.11 – Painel do maquinista	71
Figura 3.12 – Vantagens de desvantagens do sistema de <i>Convel</i>	72
Figura 4.1 – Classificação de falhas e incidentes	75
Figura 4.2 – Incidentes UQE3520 em função da quilometragem acumulada.....	78
Figura 4.3 – Causas de paragem em função do sistema reparável (UQE3520)	81
Figura 4.4 – Incidentes UQE3521 em função da quilometragem acumulada.....	83
Figura 4.5 – Causas de paragem em função do sistema reparável (UQE3521)	85
Figura 4.6 – Incidentes UQE3523 em função da quilometragem acumulada.....	87
Figura 4.7 – Causas de paragem em função do sistema reparável (UQE3523)	89
Figura 4.8 – Incidentes UQE3527 em função da quilometragem acumulada.....	90
Figura 4.9 – Causas de paragem em função do sistema reparável (UQE3527)	92
Figura 4.10 – Incidentes UQE3529 em função da quilometragem acumulada.....	93
Figura 4.11 – Causas de paragem em função do sistema reparável (UQE3529)	96
Figura 4.12 – Incidentes UQE3530 em função da quilometragem acumulada.....	97
Figura 4.13 – Causas de paragem em função do sistema reparável (UQE3530)	99
Figura 4.14 – Diagrama de Pareto dos sistemas reparáveis	102
Figura 5.1 – Esquematização dos componentes do <i>CVL</i>	108
Figura 5.2 – Automotora UQE-S2300/S2400	109
Figura 5.3 – Representação da função de densidade de probabilidade <i>Weibull</i>	110

Índice de Tabelas

Tabela 4.1 – Quilómetros acumulados por falha ocorrida na UQE3520.....	77
Tabela 4.2 – Número de falhas ocorridas por SR - UQE3520	80
Tabela 4.3 – Quilómetros acumulados por falha ocorrida na UQE3521.....	82
Tabela 4.4 – Número de falhas ocorridas por SR - UQE3521	85
Tabela 4.5 – Quilómetros acumulados por falha ocorrida na UQE3523.....	86
Tabela 4.6 – Número de falhas ocorridas por SR - UQE3523	88
Tabela 4.7 – Quilómetros acumulados por falha ocorrida na UQE3527.....	89
Tabela 4.8 – Número de falhas ocorridas por SR - UQE3527	91
Tabela 4.9 – Quilómetros acumulados por falha ocorrida na UQE3529.....	93
Tabela 4.10 – Número de falhas ocorridas por SR - UQE3529	95
Tabela 4.11 – Quilómetros acumulados por falha ocorrida na UQE3530.....	96
Tabela 4.12 – Número de falhas ocorridas por SR - UQE3530	98
Tabela 4.13 – Tabela de resultados aplicação Teste de <i>Laplace</i>	100
Tabela 4.14 – Número de falhas ocorridas (Dados Totais)	101
Tabela 5.1 – N.º de falhas por sistema reparável.....	104
Tabela 5.2 – Quadro sumarizado dos resultados em <i>SPSS</i>	104
Tabela 5.3 – Resultados do <i>MRP</i> com todas as covariáveis.....	105
Tabela 5.4 – Resultados do <i>MRP</i> após eliminação automática das covariáveis	106

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1. Âmbito da Dissertação

Qualquer organização terá com certeza o objectivo de incrementar o seu crescimento, quer do seu valor anual facturado, quer pela expansão interna e/ou externa. Uma vez que muitas empresas partilham deste objectivo comum, introduzem no mercado uma elevada componente concorrencial, fazendo com que todas estejam a braços com as directrizes que identificam o mercado aberto e, por sua vez, irá encarar com as dificuldades características da globalização.

Somente através de um bom planeamento será possível, com rigor, implementar estratégias de políticas de gestão de forma a fazer frente ao mercado cada vez mais voraz, aumentando a sua capacidade de inovação e competição. Nesta linha de pensamento, será imperativo encarar a actividade da gestão de manutenção como uma grande área da gestão, em qualquer empresa de qualquer ramo industrial. Como tal, o conceito de manutenção industrial tem evoluído bastante, não dando sinais de paragem, mostrando-se como actividade mutável que é e patenteando toda a sua importância.

Na figura 1.1 que se segue, ilustra-se de uma forma simples a importância que a função de manutenção tem na realidade de uma organização. Do ponto de vista da manutenção, pode-se ver que é uma medida transversal a todos os actores principais que compõem a estrutura de uma empresa. Pode-se identificar a importância que assume para garantir a fiabilidade e disponibilidade dos equipamentos empresariais utilizados, influenciando significativamente a qualidade dos materiais e/ou serviços produzidos, procurando sempre a efusiva diminuição dos custos que lhe estão imputados.



Figura 1.1 - Função de manutenção

É fundamental tornar claro quais serão os sistemas que poderão ter maior incidência de ocorrências relacionadas com falhas. Logo, a prevenção das falhas está intimamente ligada à manutenção preventiva, de forma a delinear planos de manutenção preventiva de forma a diminuir ao máximo as possíveis ocorrências que se traduzam em paragens não programadas. Deste modo, uma manutenção planeada, que actue no momento certo, maximizando os meios de produção, é por excelência o modelo ideal para a minimização dos custos afectos à manutenção.

No âmbito desta dissertação são empregados modelos estatísticos para analisar a tendência da taxa de falhas sucedidas nas automotoras referidas no título deste estudo. Para tal foi realizada uma recolha de dados alusivas à ocorrência de falhas, possibilitando um estudo com fundamento sólido no sentido de serem obtidos resultados que traduzam um correcto cenário da realidade.

Para finalizar, julga-se ser importante referir que este estudo pretende ser uma cooperação na antevisão de cenários de falha. Assim, deseja-se mediante este estudo contribuir activamente na avaliação do plano de manutenção preventiva empregado actualmente na empresa, de forma a alcançar resultados de disponibilidade do material

circulante superior aos actuais, contribuindo activamente para a melhoria contínua do Departamento de Manutenção da organização.

1.2.Objectivos da Dissertação

O principal objectivo da presente dissertação é o desenvolvimento de métodos apropriados para o apoio das tomadas de decisão nas políticas de manutenção, com base na fiabilidade dos equipamentos. Tem ainda um segundo objectivo que passa pela aplicação de métodos estatísticos relacionados com a gestão da manutenção, nomeadamente no que se refere à análise da tendência da taxa de falhas do material circulante em estudo e, acima de tudo, indicar como sugestão de implementação intervalos de manutenção previamente definidos pela aplicação de programas informáticos associados ao Modelo de Riscos Proporcionais.

A metodologia utilizada consistirá num tratamento específico de dados históricos, recolhidos mediante consulta do sistema implementado na empresa das falhas ocorridas nos sistemas. No total serão considerados 12 sistemas, sendo que cada um representa uma das automotoras S3500. De seguida partir-se-á para a construção da base de dados ordenada cronologicamente, de forma a se poderem aplicar os métodos estatísticos acima referidos.

Pretende-se ainda avaliar o risco associado a cada um dos subsistemas identificados, de forma a se poder tomar decisões futuras, nomeadamente na escolha de qual o subsistema a estudar mais pormenorizadamente. No entanto, um objectivo que nunca passou despercebido foi o de trabalhar de forma a se poder antever cenários de falha, pois esse será um enorme contributo, quer para se concluir sobre qual o estado inicial do PMP em uso, quer para no futuro se poder proceder às alterações consideradas necessárias no Plano de Manutenção Preventiva.

1.3.Estrutura da Dissertação

Este trabalho encontra-se dividido em 6 capítulos, organizados por matérias e que podem ser descritos da forma que de seguida se apresenta.

O Capítulo 1 pretende dar a conhecer qual o fundamento do presente trabalho e apresentar genericamente o trabalho desenvolvido. Engloba o âmbito, os objectivos, a

estrutura da dissertação e termina com uma breve apresentação histórica da empresa onde decorreu o estágio e qual o seu *core business*.

O capítulo 2 é em exclusivo dedicado à revisão bibliográfica, onde se pretendeu referenciar de forma abrangente metodologias, teoria e conteúdos necessários ao desenvolvimento da dissertação. Procurou-se enquadrar o tema da manutenção desde o seu aparecimento até ao ponto em que se conhecesse no seu contexto real do dia a dia. Passou-se de seguida para a apresentação de metodologias estatísticas que foram aplicadas. Teve-se sempre a preocupação de proceder a uma pesquisa concreta em *papers*, livros técnicos e demais fontes de informação, onde nunca se descurou a procura de fontes fidedignas e o mais actualizadas possíveis.

O capítulo 3 surgiu devido à grande complexidade com que se deparou, nomeadamente na decomposição e identificação do sistema nos seus sistemas reparáveis. Deste modo, neste capítulo apresentam-se quais os SR com que se trabalhou e qual a sua importância no sistema, dando a possibilidade ao leitor de se enquadrar melhor com o material circulante em estudo.

No capítulo 4 entrar-se-á no âmbito prático deste estudo. No entanto, inicia-se pela decomposição explicativa da base de dados cedida pela empresa. Desde a distinção nos seus 3 tipos de falhas que a compõem “Avarias e Incidentes”, passando pela diferenciação utilizada no seio da organização entre incidentes e ocorrências. Posto isto, avança-se para o esclarecimento da construção da base de dados deste trabalho, onde se esclarecem as diversas tomadas de decisão. Finalmente, avança-se para a aplicação prática na análise e modelação das falhas dos sistemas (cada uma das automotoras). São avaliadas as causas de falha com maior taxa de ocorrência em cada um dos sistemas, e mediante a utilização de gráficos e tabelas pretende-se dar um forte contributo para o capítulo seguinte.

O capítulo 5 é inteiramente dedicado à aplicação do Modelo de Riscos Proporcionais. Depois de no capítulo 4 se ter dissecado a automotora nos seus sistemas reparáveis que a constituem, pretende-se neste capítulo identificar os subsistemas com maior risco de falha, procurando, no âmbito deste trabalho, propor uma periodicidade de intervenção preventiva mais adequada para o subsistema ou subsistemas com maior índice de criticidade.

No capítulo 6 apresentam-se as conclusões desta dissertação. Apresenta-se ainda em formato de sugestão de implementação o intervalo de quilómetros proposto a aplicar no PMP no que se refere ao sistema reparável Segurança na Circulação.

1.4. Caracterização/Apresentação da EMEF

A EMEF – Empresa de Manutenção de Equipamento Ferroviário – é uma grande empresa de prestação de serviços na área metalomecânica e insere-se no código de actividade económica de fabricação e reparação de material circulante para caminho-de-ferro.

Foi constituída em Dezembro de 1992 e iniciou a sua laboração em Janeiro de 1993 como sociedade anónima, detida a 100% pela CP – Comboios de Portugal. Surgiu da crescente necessidade a que a CP vinha dando atenção: a reparação do material circulante.

Actualmente a EMEF tem como principais actividades a Reparação, a Manutenção, a Reabilitação e o Fabrico de Vagões. Existe ainda outra actividade que se encontra em fase de desenvolvimento: a montagem das novas locomotivas eléctricas 4700, adquiridas recentemente pela CP.

A Empresa foi constituída com os Serviços Centrais de Lisboa (SCL), Grupo Oficinal do Porto (GOP), Grupo Oficinal do Entroncamento (GOE), Grupo Oficinal do Barreiro (GOB) e com o Grupo Oficinal da Figueira da Foz (GFF), tendo sido efectuada a transição da posição contratual da maioria dos trabalhadores.

Em Novembro de 1994 assistiu-se ao grande *boom* da EMEF. Nessa data, começaram a fazer parte da Empresa os seguintes estabelecimentos:



Figura 1.2 – Estabelecimentos da EMEF em Novembro de 1994

Em Setembro de 1997 a Manutenção de Material e de Mercadorias passou a designar-se por Manutenção e Reparação de Mercadorias (MRM), como resultado da transferência do centro de resultados de reparação de vagões do GOE. Também neste ano a MC passou a ocupar-se da manutenção de material circulante realizada exclusivamente no Entroncamento, vindo a agrupar mais tarde o Centro de Resultados de Coimbra.

O primeiro passo estratégico de uma política de internacionalização por parte da EMEF deu-se em Março de 1999. Foi nesse ano que foi adquirido 35% do capital da FERTREM, Operações Ferroviárias Internacionais, SA., sendo os restantes accionistas a FERBRITAS e a FERNAVE.

Com esta aquisição, a EMEF começa a fazer parte de um grupo económico capaz e com pretensões de entrar nos mercados existentes na América do Sul e África, especialmente nos PALOP. A actividade albergada pelo grupo económico, abrange a elaboração de

estudos e projectos no âmbito da criação, organização, funcionamento e exploração de empresas no sector dos transportes ferroviários e portuários.

Em 1998 o posto de manutenção da Boavista passou a ficar dependente do GOP. Ainda nesse ano, a Empresa iniciou as negociações com a TRANSDEV no GOP, com o objectivo de assegurar a manutenção do material circulante, nomeadamente no que se relacionava com o metro ligeiro de superfície da área metropolitana do Porto.

No ano 2002 as “Regiões de Manutenção” foram designadas somente por Manutenções. Ainda nesse ano foi criada a Manutenção da Figueira da Foz.

A primeira certificação da EMEF foi efectuada pela entidade de certificação APCER, de acordo com a norma NP EN ISO 9001:2000. Actualmente, a Empresa possui já a certificação de acordo com a norma NP EN ISO 9001:2008, que foi concedida em Dezembro de 2008.

1.4.1. Áreas de Actividade

A EMEF possui actualmente 4 grandes áreas de actividade:

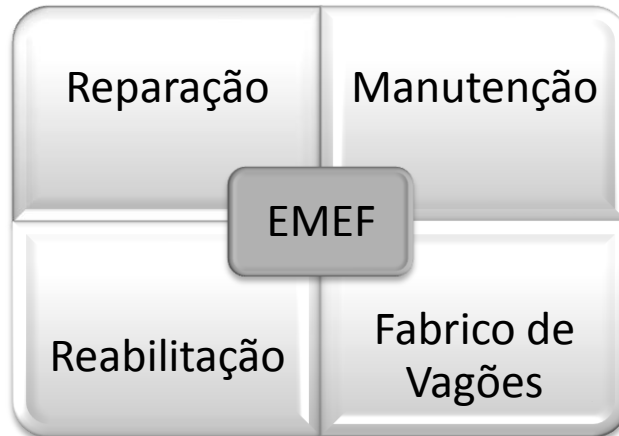


Figura 1.3 – Áreas de actividade da EMEF

Existe outra área denominada por Actividades em Desenvolvimento. Tal como o nome indica, trata-se da vertente de I&D da Empresa. Tem como principal objectivo a busca e implementação de novas tecnologias. Exemplo disso mesmo é o serviço de Telemanutenção. Ainda em fase de projecto, sabe-se apenas que irá proporcionar o registo de falhas do material circulante em tempo real. Portanto, um novo sistema arrojado e inovador e que com certeza será um sucesso.

Um outro serviço que já se encontra em funcionamento é a montagem das Locomotivas Eléctricas Série 4700, adquiridas pela CP à Siemens. Este serviço encontra-se a ser processado no Grupo Oficinal do Entroncamento (GOE), em parceria com o fabricante.

1.4.1.1. Fabrico de Vagões

Nos últimos anos tem-se vindo a denotar o forte aumento da procura de transportes de mercadorias ferroviárias. Isso acontece não só devido à saturação da capacidade do transporte rodoviário, mas também à crescente procura por parte da União Europeia para a redução da emissão dos gases de estufa.

Face às mudanças verificadas no mercado, a EMEF tem em mãos um projecto de fabricação de 300 vagões do tipo EAS-Z, 28 vagões do tipo TADNS e 28 vagões do tipo HABIS. Todos têm como destino a Bósnia Herzegovina. Com o reaparecimento desta área de negócio, a Empresa tem vindo a reorganizar-se, nomeadamente no que respeita ao aumento de competências técnicas e engenharia. O objectivo é o de se assumir como importante fornecedor destes equipamentos, quer para o mercado nacional, quer para o mercado internacional, com especial incidência na União Europeia.

1.4.1.2. Reparação

A actividade de Reparação é caracterizada não só pelo tempo de imobilização se apresentar consideravelmente elevado, mas também pelo tipo de trabalhos que são efectuados. Estes serviços de reparação são executados nos GO (Grupos Oficiais), e dependendo do *know-how* acumulado ao longo do tempo sobre cada tipo de material circulante, assim serão distribuídas as composições por cada GO.

Estes trabalhos têm um carácter preventivo e como tal, são realizados de acordo com o planeamento programado descrito no Plano de Manutenção Preventiva¹, associada a cada tipo de material circulante. Existem dois tipos de reparações na empresa. São as que se apresentam na figura 1.4 que se segue.

¹ Mais à frente, será explicado em que consiste este Plano de Manutenção Preventiva



Figura 1.4 – Tipos de reparações existentes na EMEF

A R1 envolve projectos de reabilitação com modernização e por vezes, quando necessário procede-se a remotorização – isto no caso de motores diesel. O tempo de imobilização e periodicidade de execução depende do tipo de veículo e do trabalho a realizar.

As R2 e R3 têm como finalidade principal o recondicionamento da caixa. Têm como base cronológica de intervenção a periodicidade, que pode ir dos 3 aos 5 anos, ou então a quilometragem efectuada. Obviamente, estes indicadores estarão dependentes do tipo de material circulante.

São ainda efectuadas ao abrigo desta actividade as RAV (Reabilitação por Avaria) e as RAC (Reabilitação por Acidente). Estes serviços têm um carácter correctivo, já que só serão efectuados aquando de uma das suas condicionantes (falha, acidente) se verificar.

1.4.1.3. Reabilitação

É de senso comum que com o passar dos anos conjuntamente com os quilómetros percorridos, os veículos vão perdendo qualidades, que se irão reflectir na diminuição da sua fiabilidade. De entre outras, estas perdas vão desde o conforto disponibilizado ao passageiro até à segurança do próprio veículo. Assim, de forma a dar continuidade a veículos antigos que se encontrem nas condições descritas, surge o aparecimento da actividade Reabilitação.

A EMEF em conjunto com o apoio técnico da CP (CP-Frota), tem realizado actividades de reabilitação nalguns veículos. As melhorias têm-se verificado a muitos níveis, de entre os quais dá-se ênfase à modernização do aspecto interior proporcionado aos passageiros, conjuntamente com a melhoria contínua das vertentes segurança, informação e economia de energia.

Interessa referir que todos os serviços de reparação das unidades reabilitadas e já em serviço, cumprem todos os requisitos de compatibilidade electromagnética previstos na especificação técnica, conforme verificação e homologação efectuada por uma entidade independente, aprovado pelo cliente – CP.

As reabilitações são efectuadas nos GO (Grupos Oficiais), e tal como acontece na actividade de reparação, estes são escolhidos tendo em conta o *know-how* acumulado de acordo com o tipo de veículo a reabilitar.

Existem já muitos casos de sucesso de reabilitação, no entanto dão-se apenas 2 exemplos:

- Reabilitação das Unidades Multiplas Electricas

Este projecto contemplou a reabilitação integral de 34 UME (13 UTE + 21 UQE) que executam o serviço de transporte de passageiros da linha de Cascais. Foi executado pelo GOE e o protótipo é resultante da concepção técnica exclusiva da EMEF.



Figura 1.5 - UME/UTE velha



Figura 1.6 - UME/UTE Reabilitada

- Reabilitação de Automotoras ALLAN

Reabilitação integral de 21 motoras ALLAN, série 0300, afectas ao transporte de passageiros no Ramal da Lousã. Mais uma vez, a reabilitação contemplou os aspectos ligados à fiabilidade, segurança, manutibilidade, conforto e design. A concepção técnica do protótipo foi da responsabilidade da EMEF – GOP, bem como a execução dos trabalhos.



Figura 1.7 - Allan Velha



Figura 1.8 - Allan Reabilitada

1.4.1.4. Manutenção

Esta será a principal área de actividade da EMEF. Afinal não é por acaso que se autointitula por Empresa de Manutenção de Equipamento Ferroviário.

Além de esta ser a principal área de negócio, é também a mais importante. É esta vertente que é a responsável pela manutenção de todo o material circulante da CP (Combóios de Portugal). Assim, de todo o processo que envolve o comboio, este é um dos mais importantes. É aqui que se faz toda a beneficiação de todo o material circulante, repondo os níveis de fiabilidade em valores aceitáveis quer em termos de segurança de circulação, quer no respeitante aos padrões de qualidade aceitáveis pelo cliente pagador do serviço. É todo um processo que antes de ser posto em prática, terá de ser submetido a aprovação pelo IMTT (Instituto da Mobilidade dos Transportes Terrestres).

Dentro desta grande área de actividade, existem diversos níveis de manutenção (tipos de intervenção) e de vários tipos. Como é compreensível, a CP possui muito material circulante e bastante variado. Vai desde as locomotivas diesel às locomotivas eléctricas, passando pelas automotoras com propulsão a diesel e eléctricas, carruagens e vagões de transporte de carga. No entanto, a primeira grande divisão do material circulante será feita de acordo com a sua natureza, isto é, consoante se trate de material rebocado ou material motor.

O processo de manutenção como já foi referido é de enorme dimensão. A Empresa implementa diversos tipos de manutenção. Desde a manutenção preventiva periódica (a mais utilizada), passando pela manutenção condicionada, terminando no processo de manutenção correctiva. Tendo em conta o diverso parque de material circulante, estes processos de manutenção foram alocados nas diversas áreas de manutenção espalhadas pelo país. No entanto, essa alocação além de estar relacionada com a área geográfica onde o material circulante presta o serviço, levou também em conta o *know how* acumulado por essas instalações em determinados tipos de material circulante. Deste modo foi possível tornar cada uma das instalações especialistas num ou noutra tipo de material circulante.

Cada tipo de material circulante possui as suas características particulares. É por isso que existe um plano de manutenção preventiva referente a cada um destes tipos de material. Existem diferenças que vão desde o fabricante, à tecnologia utilizada, se é material motor ou rebocado, diesel ou eléctrico, de carga ou de passageiros, etc. Daí terem existido as atribuições de material a cada uma das instalações de manutenção. Se cada uma das áreas de manutenção forem especializadas num determinado tipo de material circulante, poder-se-ão diminuir os tempos de imobilização do material. Pois, os colaboradores terão elevada experiência e grande capacidade para a detecção de prováveis falhas.

A EMEF possui diversos tipos de intervenção, que estão categorizadas pelo seu nível de profundidade da manutenção. Assim sendo, no âmbito da manutenção planeada, são efectuadas operações do tipo preventivo, visitas periódicas, diferenciadas por níveis, de acordo com a consistência básica da intervenção pretendida. Serão elas:

- Visita de Nível 5 e Visita Diária (V5 e VD)

É uma intervenção que tem como objectivo despistar falhas simples. São feitas verificações e ensaios, substituição de consumíveis (cepos, lâmpadas, etc.). A sua periodicidade varia entre um a cinco dias e está associado um tempo de imobilização de um a três horas.

- Visita de Nível 4 (V4)

Esta visita engloba todas as acções de beneficiação pertencentes à V5, às quais de juntam outras de carácter mais específico e especializado. É nesta visita que também se

substituem lubrificantes. Tem uma periodicidade de quinze a trinta dias, ou 10.000 a 15.000 km, com um tempo de imobilização prevista do material de um dia.

- Visita de Nível 3 e Visita Especial (V3 e VE)

Tal como acontece na V4, esta visita inclui todas as operações que se fazem na V5 e na V4. No entanto, esta visita destina-se a efectuar o controlo de órgãos, sopragens, afinações e substituição de lubrificantes. A periodicidade desta visita é de um a seis meses, ou 20.000 a 50.000 km, com um tempo de imobilização associado de um dia.

- Visita de Nível 2 e Visita Limitada (V2 e VL)

Este tipo de intervenção além de incluir todo o trabalho que é desempenhado nas intervenções que a precedem (V5, V4 e V3), tem por base a operação de substituição de um menor número de órgãos. A cadência desta intervenção é semestral, ou de 50.000 a 70.000 km. O tempo de imobilização que o material necessita é de dois dias úteis.

- Visita de Nível 1 e Visita Geral (V1-VG)

São efectuadas nos GO visitas periódicas de manutenção, designadas por intervenções profundas. Envolve a substituição de um elevado número de órgãos, com a correspondente reposição do potencial de vida do equipamento. É efectuada anualmente ou de dezoito em dezoito meses, ou de 200.000 a 300.000 km, com um tempo de imobilização previsto entre os dez a quinze dias úteis.

Ainda no âmbito das actividades de manutenção, existem equipas de um segmento muito específico. São designadas por Socorro e Prevenção. Fazem deslocações de emergência quando existem situações de (VAV) Avarias ou de (VAC) Acidentes no Material Circulante. Neste ponto incluem-se os descarrilamentos, atropelamentos, colhidas na via férria, actos de vandalismo ou outros acidentes ou anomalias.

As equipas de Prevenção caracterizam-se pela disponibilidade permanente de uma estrutura operacional de meios técnicos e humanos, pronta a intervir vinte e quatro horas por dia, todos os dias do ano.

Por seu turno, as equipas de Socorro caracterizam-se pela rápida intervenção em plena via, onde ocorram situações de obstrução. Esta pode ter origem em falha do material circulante ou em acidente. O seu objectivo principal será o de desobstruir a via e o

carrilamento do material circulante, no menor tempo possível, de forma a criar as condições de segurança necessárias para o normal fluxo do tráfego ferroviário.

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Introdução

Ao longo dos anos têm-se verificado diversas alterações na manutenção, não só em relação ao conceito em si, mas também às diversas formas que pode assumir mediante a aplicabilidade e ajustamento aos mais diversos sistemas.

Este capítulo é dedicado exclusivamente à revisão bibliográfica, tendo com principal objectivo apresentar de uma forma ampla e abrangente todos os conteúdos e metodologias utilizadas neste estudo. Na sua grande maioria, os conceitos aqui descritos foram todos aplicados nesta dissertação e existiu desde o princípio do estudo a preocupação em recorrer frequentemente a publicações científicas, fontes e livros o mais recentes possíveis.

Pretende-se também fazer um enquadramento da manutenção no contexto actual, definindo os seus principais conceitos e, numa segunda fase, demonstrar os modelos estatísticos mais utilizados na área da análise e interpretação das falhas.

Na área da grande manutenção como é o caso do material ferroviário circulante, que é um sistema de elevado custo, é usual a subdivisão em sistemas reparáveis e subsistemas pelo facto de se tornar mais económico quer a sua manutenção quer o acompanhamento directo “*in loco*”.

Pretende-se também apresentar sucintamente um conjunto de metodologias tipicamente utilizadas na gestão da manutenção, mais precisamente na análise de sistemas reparáveis.

2.2. Manutenção

Existem actualmente bastantes definições de manutenção. Uma delas será a que refere que a manutenção é uma “*combinação de todas as acções técnicas, administrativas e de gestão durante o ciclo de vida de um bem, destinadas a mantê-lo ou repô-lo num estado em que possa cumprir a função requerida.*”

in (NP EM 13308:2007 – Terminologia da Manutenção, IPQ)

Cabral (1998) define a manutenção como “o conjunto das acções destinadas a assegurar o bom funcionamento das máquinas e das instalações, garantindo que elas são intervencionadas nas oportunidades e com o alcance certos, por forma a evitar que avariem ou baixem de rendimento e, no caso de tal acontecer, que sejam repostas em boas condições de operacionalidade com a maior brevidade, tudo a um custo global optimizado.”

Por sua vez, Ferreira (1998) afirma com base na AFNOR – Associação Francesa de Normalização – que a manutenção é um conjunto de acções que permitem manter ou restabelecer um bem num estado específico ou com possibilidade de assegurar um determinado serviço por um custo global mínimo.

Até há pouco tempo atrás a manutenção nas empresas era uma área residual da sua organização onde só se revelava aquando do aparecimento de uma falha. Hoje em dia, esse paradigma foi alterado. Passou-se de uma manutenção simplesmente correctiva para uma manutenção preventiva.

2.2.1. Resumo Histórico da Manutenção

Com o início da indústria mecânica e robotizada em meados do século XIX apareceu também a manutenção industrial. No entanto, nessa altura a manutenção era realizada sem nenhum tipo de organização e planeamento.

Durante os anos 30 até 1940, motivados pela Segunda Guerra Mundial e pela necessidade de um aumento na rapidez da produção, surge o conceito de Manutenção Preventiva. Foi nesse momento que se deu a importante viragem: a manutenção passou a preencher o papel principal a par da produção.

No final dos anos 50 e início dos anos 60, o interesse dos Estados Unidos da América estava concentrado no desenvolvimento de mísseis intercontinentais e na investigação espacial. Foi então criada a associação de engenheiros para trabalhar as questões relacionadas com a qualidade. O primeiro jornal relacionado com a fiabilidade, *IEEE – Transactions on Reliability*, foi publicado em 1963. (Dias, 2002)

Foi na década de 70 que a manutenção começou a ser encarada como uma ciência. Foi nessa época que passou a ser vista como produtiva, e filosofias orientais começaram a

ser incorporadas nas industria, como é o casa da Manutenção Produtiva Total, mais conhecida pelo termos em inglês *TPM – Total Productive Maintenance*. (Tavares, 2004)

Nos anos 80 e 90 surgem os primeiros microcomputadores com capacidade para processar informações associadas à manutenção. Este facto revelou-se vital tendo em consideração que a manutenção preventiva baseia-se em estudos estatísticos e de fiabilidade, e esses primeiros computadores possuíam essa capacidade. A partir daí iniciou-se o desenvolvimento de sistemas da gestão da manutenção. Estes sistemas usam o computador para planear a manutenção preventiva através da emissão de ordens de serviço, gestão de inventários e de stocks, informações do histórico e suporte logístico.

De seguida, apresenta-se a figura 2.1 onde se pode ver a evolução temporal das técnicas de manutenção e suas metodologias (Zaions, 2003).

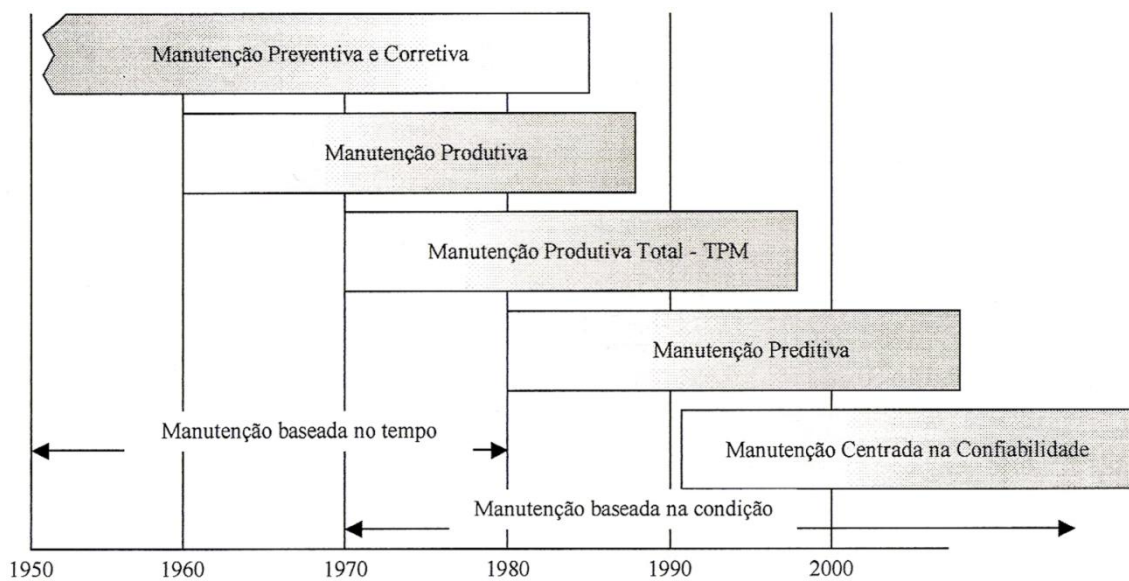


Figura 2.1 – Síntese da aplicação das metodologias de manutenção (Zaions, 2003)

A gestão da manutenção foi uma das áreas que mais evoluiu nos últimos 20 anos, devido ao aumento da grande diversidade e complexidade das máquinas, bem como da alteração das responsabilidades da manutenção. (Moubray, 2000)

A primeira geração foi caracterizada pela gestão de acções estritamente correctivas. Nessa geração os equipamentos eram super dimensionados em termos de capacidade, o que permitia a adopção de acções simplesmente correctivas. (Moubray, 2000)

O aumento da complexidade e evolução das máquinas, bem como da escassez de mão-de-obra devido ao período de guerra, levaram a uma mudança nas acções de gestão da manutenção. Moubray (2000) denomina esse período de segunda geração.

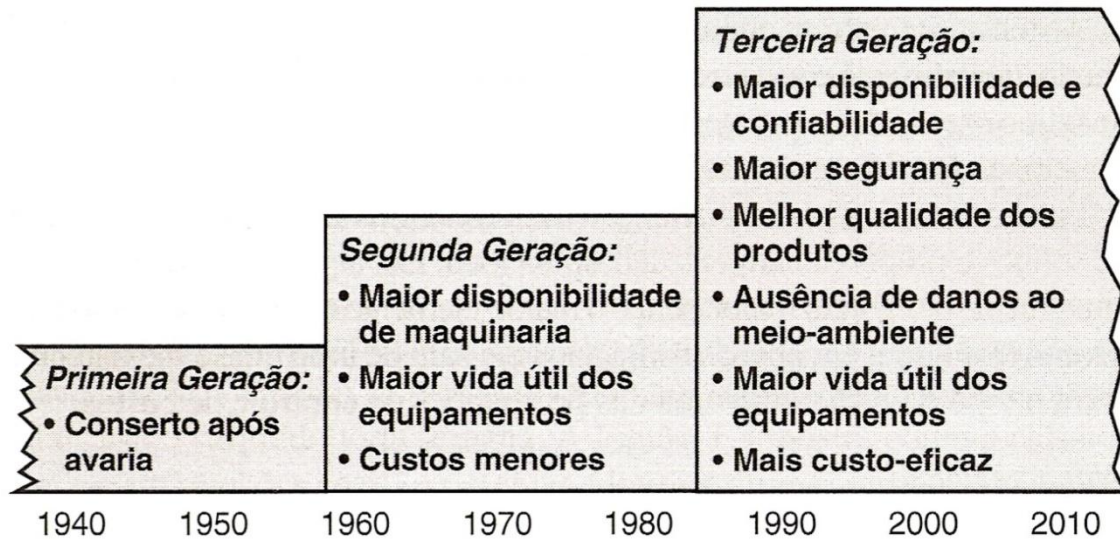


Figura 2.2 - Evolução da Manutenção (Moubray, 2000)

Moubray (2000) salienta que os factores que motivaram o aparecimento de uma terceira geração são:

- Novas expectativas relativamente à confiabilidade e disponibilidade, higiene e segurança e ao aumento dos custos totais de manutenção;
- Novas pesquisas que evidenciaram a existência de novos padrões de falhas dos equipamentos;
- Aparecimento de novas ferramentas e técnicas de manutenção, tais como a monitorização dos equipamentos, projecto novas máquinas já a pensar na sua manutenção e o desenvolvimento do espírito de trabalho de equipa.

2.2.2. Função da Manutenção

Qualquer equipamento, sistema ou instalação, seja ele mecânico, eléctrico/electrónico, hidráulico ou pneumático, estará sempre sujeito a um processo de desgaste. Tal sucede não só pela sua utilização normal mas também por situações fortuitas. Como tal, deverá existir um modelo de manutenção em função das características da instalação onde está implementada a indústria e estar em coerência com os equipamentos existentes e sua utilização.

Esse modelo requer que sejam efectuadas reparações, inspecções, rotinas preventivas, substituição de órgãos ou peças, mudanças de óleo, limpezas, correcção de defeitos, fabricação de componentes, pinturas, etc., para que sejam repostos os níveis de fiabilidade dos equipamentos. Estas acções de manutenção formam o conjunto de actividades, ou a missão, da função da manutenção (Pinto, 1999).

Embora as actividades de manutenção variem consoante o tipo e grandeza da empresa, é possível agrupar essas actividades em duas áreas funcionais (Gonçalves, 2005):

- Funções primárias, que estão relacionadas com os trabalhos de manutenção nos sistemas e equipamentos e sua gestão. Estas funções primárias vão desde a manutenção propriamente dita, à gestão e elaboração dos planos de manutenção, a elaboração de históricos, tendo ainda a função técnica do estudo dos processos de falhas nos equipamentos;
- Funções secundárias, nas quais como exemplo pode-se referir a protecção e segurança industriais, a higiene e segurança no trabalho, o controlo das fontes de poluição, etc.

Apesar de já se conhecerem estes tipos de funções de manutenção, pensa-se que com a crescente inovação tecnológica e desenvolvimento da automatização industrial com o propósito de convergir em objectivos de optimização do ciclo de vida de equipamentos pertencentes à era do mercado globalizado, aparece em destaque cada vez mais a unificação das funções empresariais.

Assim, assistir-se-á a uma indústria onde as competências técnicas serão elevadas e em que o operador de uma máquina de produção terá a seu cargo a tarefa de prestar a manutenção necessária, sendo que este sentir-se-á apoiado directa e indirectamente pelos serviços da manutenção.

2.3. Tipos de Manutenção

No seu conjunto pode-se considerar que existem essencialmente dois tipos de manutenção: Manutenção Correctiva e Manutenção Preventiva. Pelo facto de nem todas as falhas serem previsíveis ou susceptíveis de serem evitadas, a grande maioria das empresas continuam a preferir as intervenções com carácter meramente correctivo (Gonçalves, 2005).

Pode-se considerar as seguintes políticas de manutenção (Lampreia, 2005):

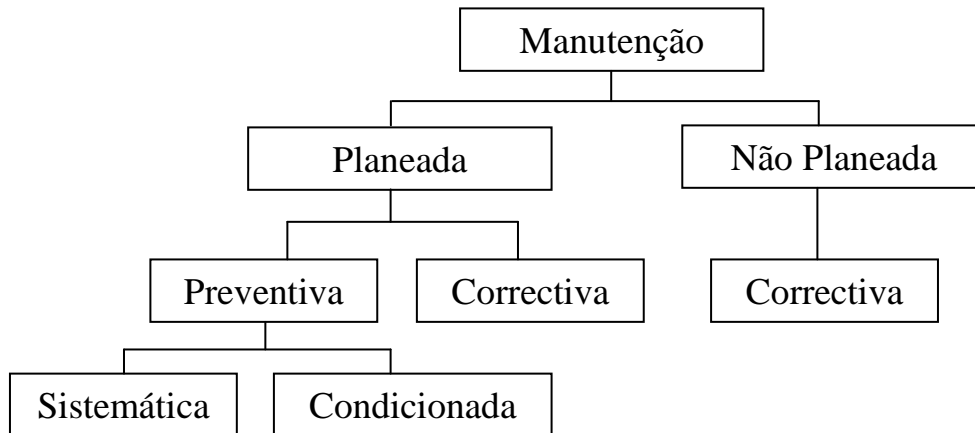


Figura 2.3 - Classificação dos Tipos de Manutenção

Segundo Gonçalves (2005), a manutenção poderá tomar diversas formas nomeadamente à forma de actuar perante uma determinada falha ou anomalia. As intervenções da manutenção podem ser não planeadas, se as falhas ocorrerem de forma imprevista e a manutenção é executada sem qualquer tipo de gestão, ou planeadas quando o equipamento permite o planeamento das acções de manutenção para o momento mais oportuno.

2.3.1. Manutenção Preventiva

Este tipo de manutenção engloba duas vertentes: a Manutenção Preventiva Sistemática e a Manutenção Preventiva Condicionada.

Segundo Lampreia (2005) a primeira é uma manutenção executada de acordo com uma calendarização pré-definida com uma periodicidade fixa (semanal, mensal, anual, ciclo de funcionamento, distâncias percorridas ou tempo decorrido, etc.).

A segunda será uma manutenção executada com base em intervenções de periodicidade variável efectuadas de acordo com o estado do equipamento, avaliado através do controlo das condições previamente seleccionadas do seu funcionamento (Pinto, 1999).

Em ambos os casos, as técnicas deste tipo de manutenção têm sempre como objectivos (Smith, 1993):

- Prever as datas prováveis em que as falhas poderão ocorrer a fim de poder tomar, antecipadamente, as medidas tendentes a evitá-las;
- Reduzir ao mínimo os factores que contribuem para as falhas, nomeadamente incrementando os factores que contribuem para o bom funcionamento dos equipamentos;
- Uma tentativa de minorar as consequências de uma falha.

Entre outras, podem-se enumerar algumas vantagens e desvantagens da aplicação de uma manutenção preventiva.

Vantagens

- Limita o aparecimento de falhas e diminui o tempo de paragens dos equipamentos, aumentando a sua disponibilidade para a produção e contribuindo para a redução dos custos;
- Reduz o risco de acidentes graves devido a falhas, aumentando a segurança dos equipamentos e do pessoal;
- Melhora e racionaliza a utilização dos meios humanos afectos à actividade através do planeamento das actividades de manutenção, com a consequente redução dos custos.

Desvantagens

- Necessidade de um conhecimento profundo dos equipamentos de forma a que os seus programas de manutenção sejam bem ajustados, nomeadamente ao que se refere às periodicidades e calendarização sem falhas;
- Requer uma equipa de manutenção competente, eficaz e bem treinada que se inicie no gestor da manutenção e vá até aos mecânicos e electricistas propriamente ditos.
- De forma a ser bem aplicada, necessita da implementação prévia de um plano de manutenção bem definido e organizado.

2.3.2. Manutenção Correctiva

A Manutenção Correctiva tem como objectivo a correcção de falhas ou deficiências do sistema. É aquela em que as manutenções e processos de beneficiação são realizados quando a máquina, o equipamento ou veículo já estão imobilizados.

Segundo Cabral (1998) a manutenção correctiva, também conhecida por curativa, destina-se a reparar falhas e maus funcionamentos ocorridos em serviço e a repor os níveis de produtividade em valores aceitáveis.

Entre outras, podem-se enumerar algumas vantagens e desvantagens da aplicação de uma manutenção correctiva.

Vantagens:

- Não exige a criação de históricos nem inspecções regulares às máquinas.

Desvantagens:

- As máquinas podem ter uma falha durante os horários de prestação de serviço;
- As empresas terem a necessidade de possuírem máquinas de reserva;
- Existe a necessidade de trabalhar com *stocks* o que aumentará os custos de produção.

2.3.3. Manutenção Emergência

Segundo Niebel (1994) a manutenção de emergência é encarada como sendo a manutenção que se aplica em situações de inexistência de qualquer tipo de gestão, isto é, nas ocorrências onde se aplicará a manutenção não planeada.

2.4. Plano de Manutenção

Em todas as indústrias e independentemente do seu ramo de actividade a manutenção tem vindo a ganhar uma importância vital. Segundo Ferreira (1998) esta área da manutenção preventiva, apresenta-se como um dos factores primordiais que contribuem para a produtividade das empresas. É com frequência que a política de manutenção de uma empresa passa quase em exclusivo pela aplicação do seu plano de manutenção, ou

seja, os seus processos de beneficiação cumprem uma política de manutenção preventiva previamente estudada e implementada.

Um plano de manutenção poderá ser considerado como um manual de procedimentos da manutenção preventiva a aplicar na Empresa. Lloyd e Lipow (1984) referem que para uma correcta manutenção programada e organizada, deverão ser fixadas tarefas, os métodos e os recursos necessários para as intervenções de manutenção a executar.

Anderson e Neri (1990) sustentam com a ideia de que a aplicação de um plano de manutenção será notada ao longo do tempo e irão começar a reflectir-se os resultados dessa política. Não só porque se terá uma manutenção cada vez mais incisiva nos equipamentos com maior prepotência a falhar como se obterá um melhor ajuste económico e temporal das instalações, obtendo-se desta forma uma Empresa em que os tempos de paragens terão uma tendência para serem cada vez menores.

Através de um plano de manutenção otimizado poder-se-á garantir uma maior fiabilidade do equipamento. Da sua aplicação será possível a elaboração de um histórico sempre actualizado, concluir sobre a existência de padrões nas falhas e seus equipamentos e conseqüentemente mobilizar os esforços necessários para colmatar os pontos fracos.

Segundo Cabral (1998), o histórico será o elemento mais valioso de um sistema de gestão da manutenção na medida em que contém informação fidedigna sobre o funcionamento dos equipamentos na sua real situação operacional.

2.4.1. Objectivos e Aplicabilidade

O objectivo principal da implementação de plano de manutenção será o de satisfazer o cliente, quer pelo objectivo de alcançar um baixo nível do índice de falhas quer pela redução de custos e imobilização das máquinas.

Da aplicação de um plano de manutenção, será possível atingir uma boa organização pela criação de mecanismos que irão permitir a extracção de informação de modo a caracterizar as instalações e os equipamentos. (Mobley, Higgins e Wikoff, 2008)

Na óptica dos Custos:

- Custos de manutenção (mão de obra, materiais, serviços);

- Custos de energia e fluidos (electricidade, gás, vapor, ar comprimido, etc.);
- Custos de investimento (amortização, provisões);
- Custos de não manutenção (consequências de não intervir).

Na óptica Técnica:

- Tipificação das intervenções;
- Identificação das falhas;
- Caracterização do desempenho do processo (disponibilidade, tempos de paragem, etc.);
- Caracterização do desempenho dos equipamentos (MTBF, MTTR, disponibilidade, etc.);
- Caracterização do desempenho dos prestadores de trabalhos (tempo de resposta, indicadores de eficiência, etc.).

Um planeamento é tão importante que Niebel (1994) afirma mesmo que só a manutenção de emergência é realizada sem o respectivo planeamento antecipado.

2.4.2. Implementação no Contexto Real da EMEF

De seguida dar-se-á um exemplo prático de como é que um Plano de Manutenção Preventiva (PMP) é aplicado na realidade. Notar que o exemplo utilizado faz referência exclusivamente ao PMP das automotoras UQE-S3500 que efectuem os serviços de manutenção na Manutenção de Lisboa (ML).

A EMEF tem actualmente implementado um PMP para cada tipo de material circulante ao qual dão a assistência técnica. O PMP nesta empresa é denominado por Sistema da Qualidade (SQ). Na figura 2.4, poder-se-á ver como é constituído o SQ e quais as características de cada um dos seus constituintes.

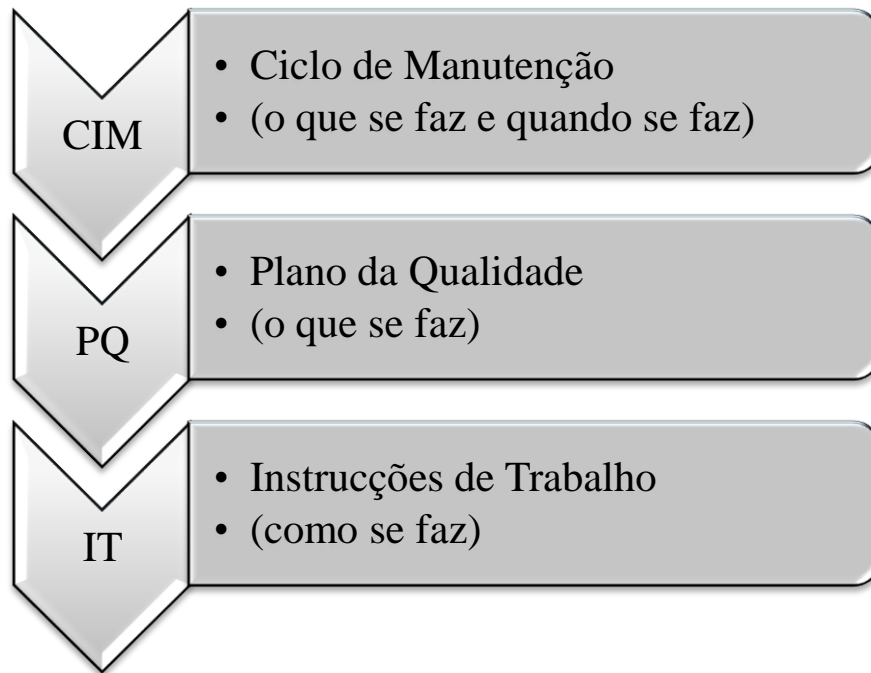


Figura 2.4 – Constituição do Sistema de Qualidade

2.4.2.1. Ciclo de Manutenção

O Ciclo de Manutenção (CIM) será o nível hierárquico onde estarão definidas todas as características principais que compõem o SQ. Será neste ponto que serão inventariados:

- As operações de manutenção preventiva;
- A periodicidade de cada intervenção;
- A imobilização subjacente a cada tipo de intervenção;
- Os planos de qualidade de cada intervenção;
- Os potenciais de vida dos equipamentos.

A informação descrita será aplicada a todas as automotoras UQE-3500 e cumprido pela Manutenção de Lisboa – Campolide e Parque Oficial do Entroncamento.

O CIM contará ainda com o gráfico de intervenções. Nele poder-se-á ver a periodicidade das operações em termos de quilometragem. A sua principal função será a de através dele a equipa de gestão saber exactamente em que ponto do CIM se encontra. Esse factor será particularmente útil aquando da gestão dos recursos espaciais das oficinas, pois saberá quanto tempo é que determinada composição irá ocupar a linha X e poderá reorganizar todo o seu *layout*.

Outra informação disponibilizada que virá apenas corroborar a informação disponibilizada pelo gráfico de intervenções é a tabela de intervenções. Além da informação disponibilizada pelo gráfico, inclui o tempo necessário de imobilização para cada uma das visitas e também a identificação dos documentos necessários para cada visita. Essa informação está codificada e será parte integrante do Plano de Qualidade.

Por último aparecerá a informação relativa ao potencial de vida dos equipamentos. Aqui poder-se-á verificar qual o tempo esperado de vida de algumas categorias de equipamentos e qual o critério de substituição a utilizar. Se serão os quilómetros percorridos, se o tempo de serviço.

2.4.2.2. Plano de Qualidade

O plano de qualidade é o que se segue hierarquicamente ao CIM tal como se explicita na figura 2.4. Serão partes integrantes do Plano de Qualidade (PQ) os diagramas dos processos das visitas (V1, V2, V3 e V4) assim como o diagrama de processo da Inspeção de Serviço (IS).

A função principal do PQ será a de indicar os trabalhos a executar nas operações de Manutenção Preventiva às UQE-3500, de acordo com o seu ciclo de manutenção em vigor e define os tipos de manutenção a efectuar – V1 – V2 – V3 – V4 – IS – e sua periodicidade, indicando para cada tipo, o conjunto de equipamentos e circuitos a visitar.

Indica ainda que a Manutenção Preventiva destas unidades é da responsabilidade da Manutenção de Lisboa – Manutenção de Material de Campolide – em cujo campo de actuação se situam as secções de produção Eléctrica e Mecânica, das quais depende directamente a manutenção dos equipamentos que lhes é atribuída, bem como os ensaios dos equipamentos e circuitos de forma a garantir a fiabilidade de funcionamento da Unidade Motora.

As periodicidades indicadas no PQ resultam da experiência obtida na manutenção de equipamentos similares e do tipo de exploração a que o material circulante aqui retratado, UQE-3500, estará sujeito, não podendo no entanto considerar-se como definitivas.

A manutenção periódica sistemática dos equipamentos referidos anteriormente passam por operações vinculadas com:

- O controlo visual;
- O controlo e regulação de correcto funcionamento;
- A limpeza, lubrificação e níveis de óleo;
- A troca sistemática de determinados equipamentos ou parte destes;
- Os testes necessários e inerentes da manutenção dos equipamentos intervencionados.

Por último, a Inspeção de Serviço – IS – não obedece a nenhum critério especial – ciclo de manutenção ou programação própria – sendo esta intervenção realizada de acordo com a rotação do material (recepção por diagnóstico aquando do parqueamento da unidade).

O PQ inclui ainda as disposições e procedimentos de segurança que terão obrigatoriamente de ser respeitados. Tais normas serão cumpridas antes do início das operações de manutenção a que a unidade está sujeita e que envolvam trabalhos sobre o tejadilho ou cofres de alta tensão. Serão elas:

- Comprovar que a unidade está fora de catenária e sem possibilidade de ligação à mesma ou no caso das operações de manutenção se realizarem sob catenária seccionada, proceder de acordo com o preceituado na IT 9.I.MMC.015 (Trabalhos sobre as unidades sob catenária seccionada);
- Colocar a unidade fora de serviço por intermédio da caixa de interruptores de chaves do seccionador de terra;
- Verificar que o pantógrafo está devidamente baixado e em repouso no seu suporte de apoio antes de subir ao tejadilho;
- Não ligar a unidade com alta tensão ou a bateria da mesma, sem que antes e em voz alta sejam avisados os outros colaboradores que operaram na unidade (IT 9.I.MMC.015);
- Não permanecer nas imediações da antena do Convel, quando a bateria estiver ligada – perigo, emissão de rádio frequência.

2.4.2.3. Instruções de Trabalho

Neste exemplo real de um plano de manutenção preventivo implementado na EMEF, aparecem as questões que se prendem com as Instruções de Trabalho (IT). Esta será a última etapa do PMP. Tal como explicitado na figura 2.4, será fase onde estarão explicadas todas as instruções necessárias desempenhar nas quatro diferentes tipos de visitas existentes para as UQE-3500.

Estas IT encontram-se divididas em duas secções: eléctrica e mecânica. Esta divisão existe não só por causa das distinções existentes nos equipamentos que compõem cada uma das partes, mas também pela formação fornecida aos colaboradores. Deste modo, um electricista não terá as competências necessárias para desempenhar funções na secção mecânica e vice-versa.

Demonstra-se na figura seguinte as divisões e subdivisões existentes referentes às IT.

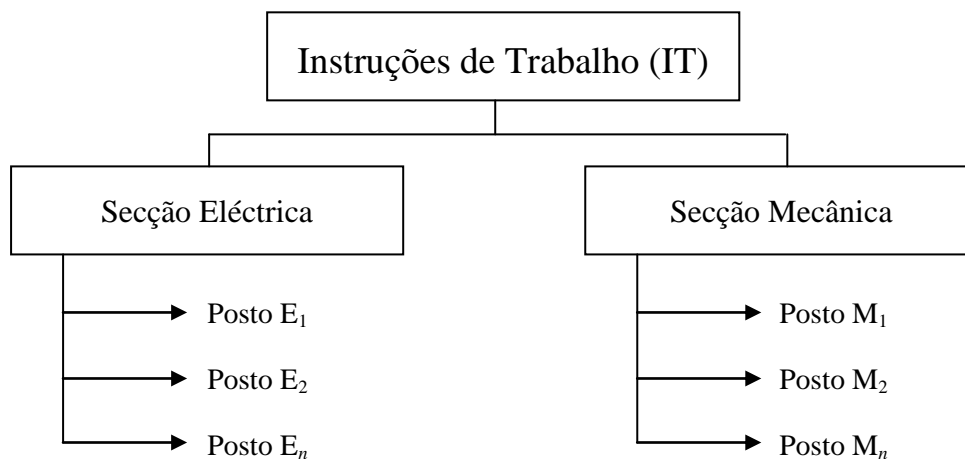


Figura 2.5 – Divisões existentes nas Instruções de Trabalho

Como se poderá ver na figura 2.5 além da divisão por secções nas IT, existem as subdivisões relativas a cada posto de trabalho. Assim, cada instrução de trabalho será detalhada pormenorizadamente e relativa a cada posto de trabalho. Estarão discriminadas todas as operações, responsabilidades e competências que cada operador terá de assumir.

Todos os exemplos que foram considerados relevantes para uma melhor compreensão do PMP da EMEF, estão disponíveis no Anexo 6.

Para finalizar interessa referir que todas estas operações de beneficiação das automotoras bem como as instruções de trabalho foram inicialmente elaboradas tomando em linha de conta as indicações do fabricante. No entanto, com a experiência e “*know-how*” acumulado ao longo dos anos, a EMEF conseguiu efectuar alguns ajustes de forma a adequar a manutenção da UQE-3500 à realidade portuguesa.

Como será compreensível, tanto este SQ da UQE-3500 como o de qualquer outro tipo de material circulante teve de ser previamente homologado pelo cliente, a CP. Este por sua vez, depois de concordar e assinar fez chegar ao IMTT uma cópia do SQ. Este último guardará uma cópia e só então o SQ estará pronto, homologado e apto para poder ser aplicado. Este é o circuito obrigatório de um Plano de Manutenção Preventiva.

Para melhor se compreenderem as razões tais medidas de segurança quer por homologação quer por conhecimento do IMTT, é importante recordar que se está perante um transporte público extremamente utilizado e que em hora de fluxo máximo de utilização poderá comportar cerca de 1210 passageiros.

Reafirmando o que foi dito anteriormente, para se ficar com uma melhor opinião sobre o que é e como se encontra organizado um Plano de Manutenção Preventiva, poder-se-á contemplar o exemplo que foi cedido gentilmente pela empresa onde o estágio foi realizado.

Seguidamente, passar-se-á a outra fase deste capítulo de revisão bibliográfica. Passar-se-á então à demonstração e definição de conceitos que foram utilizados neste trabalho, no que respeita à análise estatística dos históricos das falhas dos Sistemas Reparáveis.

2.5. Informação Censurada e Não Censurada

Nos tempos desde a última falha é usual encontrar informação incompleta ou censurada, que acontece quando o tempo exacto de falha não é o observado. Esses dados censurados aparecem de várias formas e ocorrem por múltiplas razões. (Dias, 2002)

Segundo Lampreia (2005) e Baptista (2007) considera-se um dado censurado como sendo uma ocorrência na qual os valores de tempo não correspondem a uma falha. A distinção mais vulgar da informação é entre dados censurados à direita e dados censurados à esquerda.

Deste modo, segundo Lee e Wang (2003) para uma variável aleatória T , ela é censurada à esquerda se a observação da variável é menor que um determinado valor, isto é, apesar do seu estudo ter sido iniciado em T_0 , o sistema em estudo já se encontrava em funcionamento. Por sua vez, uma variável censurada à direita define-se por tudo o que sabemos a seu respeito é que o seu valor é superior que um determinado valor, valor em que terminou o seu estudo, mas em que o sistema associado continuou em funcionamento.

Os dados censurados à direita possuem dois tipos, o tipo I e tipo II. O tipo I é o mais conveniente porque a duração da observação pode ser especificada quando o estudo é planeado, e o tipo II não pode prever com precisão no momento em que o plano de estudo é definido. (Lampreia, 2005) e (Dias, 2002).

Esta selecção prévia dos dados a utilizar irá revelar-se muito importante no que respeita à continuidade deste estudo. Será através desta pré-selecção que dependem os dados para se poderem estudar os sistemas reparáveis e os seus comportamentos. Assim, de seguida apresentam-se os denominados Sistemas Reparáveis.

2.6. Sistemas Reparáveis

Os sistemas reparáveis (SR) constituem, em termos de fiabilidade, a maioria dos equipamentos utilizados quer na indústria quer nos serviços. Ascher e Feingold (1984) definem um sistema reparável como sendo um sistema que após cada falha é reparado, sendo reposta a sua situação operacional até uma outra possível falha.

A maioria dos equipamentos industriais poderá ser analisado como fazendo parte de sistemas reparáveis. Assim, por definição, os sistemas reparáveis são sujeitos a acções de manutenção (preventiva ou correctiva) que podem influenciar os intervalos de tempo entre falhas. Daí surgir a necessidade, no início de qualquer estudo, de analisar a tendência e a independência dos dados disponíveis no histórico.

Deste modo e tal como Dias (2002) procedeu, este trabalho iniciou-se pela análise detalhada da aplicação do teste de Laplace para identificar se os dados apresentavam um comportamento homogéneo.

No entanto, como diz Lampreia (2005) não é só através da modelação probabilística e análise estatística que se melhorará a fiabilidade de um sistema reparável. É necessário

proceder a alterações do projecto dos sistemas, melhorar o controlo de qualidade, monitorizar a produção, os ensaios e o funcionamento dos sistemas.

2.6.1. Taxa de Falhas

Um sistema reparável está confrontado com a sequência de falhas dependentes do tempo de duração de cada componente e, portanto, das distribuições estatísticas relacionadas ao tempo de vida de cada um deles. Deste modo e segundo Dias (2002), a taxa de falhas tem a ver com o processo estocástico que modela o número de falhas ao longo do tempo.

Um sistema reparável poderá estar sujeito a várias falhas dependentes ou não de factores internos ou externos ao próprio sistema, podendo influenciar a sua taxa de ocorrência de falhas (ROCOF – *Rate Of Occurrence Of Failures*).

O'Connor (2002) aconselha a utilização do teste de Laplace para analisar a possibilidade da presença de possíveis Processos de Poisson.

Um processo de Poisson, na vertente *soft* da Gestão da Manutenção, consiste numa sequência de ocorrências de falha ou falha de um sistema reparável, durante o seu período de funcionamento. Na figura 2.6 está representada, a título de exemplo, uma sequência de ocorrências de falha, para um determinado período de funcionamento, onde τ representa o tempo de vida do sistema no momento da falha ou a idade do sistema em cada falha.

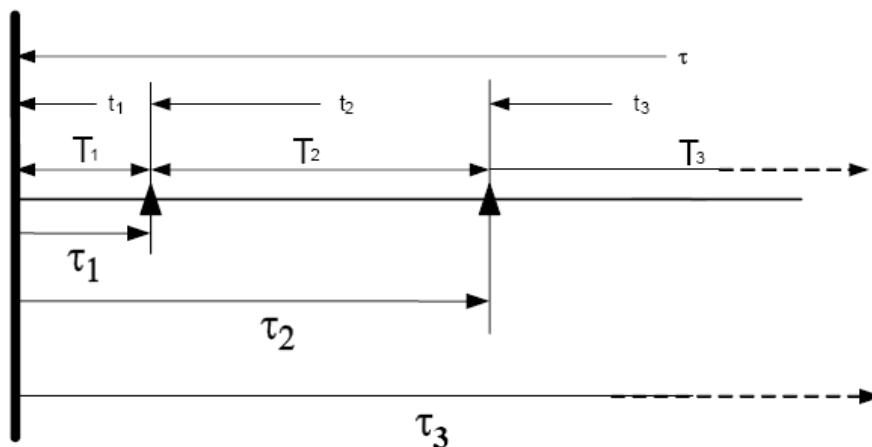


Figura 2.6 - Exemplo de um Processo Estocástico Pontual (Dias, 2002)

Considerando que o sistema reparável é constituído por um ou mais componentes, a sequência de falhas indicada pode ser devida à falha de um mesmo componente ou de

componentes distintos. Para a primeira falha, ter-se-ia, por exemplo, uma função de probabilidade de falha $F_1(t) = P(T_1 \leq t_1)$ dada por $P(T_1 \leq t_1) = \int_0^{t_1} f_1(u)du$ e assim sucessivamente, para as restantes falhas. Está-se, portanto, perante um conjunto de variáveis aleatórias distintas:

- Idade do sistema no momento da falha (τ)
- Tempo desde a última falha (T) que depende da função de probabilidade que modela o tempo de vida do componente que falha na posição i .

A dificuldade surge quando os intervalos de tempo entre falhas podem ser modelados por uma distribuição estatística. Se esta distribuição estatística é a distribuição exponencial negativa, caracterizada por uma por uma função de risco constante, então é usual considerar que se trata de um Processo de Poisson Homogéneo (PPH), esquecendo a sequência cronológica das falhas.

Como se poderá ver adiante, existe mais do que o PPH. Esta distinção será feita com base no resultado de uma estatística de teste. Assim, apresenta-se de seguida como é que através dos dados amostrais, se consegue concluir sobre o comportamento de um determinado SR. Apresenta-se então o denominado Teste de Laplace.

2.7. Teste de Laplace

O teste de Laplace, baseado numa estatística amostral, permite verificar se a taxa de falhas é constante ou se, pelo contrário, apresenta alguma tendência. Segundo Ascher e Feingold (1984) é suficiente aplicar o teste de Laplace para testar a presença de um Processo de Poisson Não Homogéneo (PPNH), ou seja, uma taxa de falhas variável no tempo.

Este processo de verificação de existência de tendências nos dados amostrais (usualmente utiliza-se o histórico das falhas do sistema) é importante para se poderem despistar situações onde possam ter ocorrido situações consideradas, como é o caso de manutenções mal executadas ou imperfeitas. Chega-se a essas conclusões pelo estudo à eventual existência de correlação dos dados.

A equação a aplicar nestas situações é a equação (2.1), onde a estatística de teste de Laplace é distribuída segundo a distribuição normal reduzida com média zero e variância unitária. A hipótese nula H_0 , ou seja a hipótese de se estar a tender para um

Processo de Poisson Homogéneo, será rejeitada se $|z_0|$ for superior ao valor crítico, para um determinado nível de significância, ou seja, $|z_0| > z_{\alpha/2}$

Ainda na mesma equação n_f representa o número de falhas, T é o tempo de observação do sistema e τ é a idade do sistema no momento da falha.

$$z_0 = \sqrt{12n_f} \left[\frac{\sum_{i=1}^{n_f} \tau_i}{n_f T} - 0,5 \right] \quad (2.1)$$

O teste de Laplace permite concluir, após os tempos de falhas serem ordenados cronologicamente, e para um determinado nível de significância, se o sistema reparável se comporta como um Processo de Poisson Homogéneo, os valores da estatística de teste, z_0 deverão situar-se dentro de intervalo de confiança. Valores negativos fora do intervalo indicam a presença de um Processo de Poisson Não Homogéneo com taxa de falhas decrescente, enquanto valores positivos fora do intervalo indicam taxa de falhas crescente.

Os sistemas com tendência para uma taxa de falhas decrescente podem ser analisados utilizando o Modelo de Crow, como será explicado mais à frente no ponto 2.8.1.1.

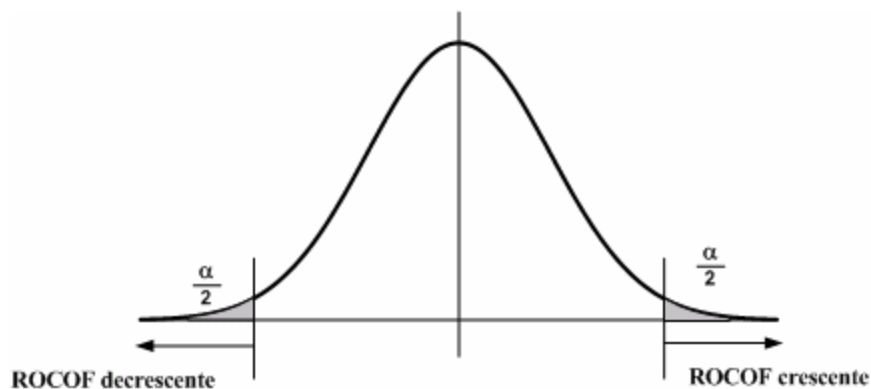


Figura 2.7 - Distribuição Normal Reduzida (Dias e Pereira, 2005)

Assim, e em jeito de conclusão pode afirmar-se que seguindo um pressuposto de um Processo de Poisson Homogéneo, os valores da estatística de teste, z_0 , deverão situar-se dentro do intervalo de confiança. Valores negativos, fora do intervalo, indicam a presença de um Processo de Poisson Não Homogéneo com ROCOF decrescentes, enquanto que valores positivos, fora do intervalo, indicam ROCOF crescentes.

2.8. Processos de Poisson

Sendo a área da análise estatística referente aos processos estocásticos muito vasta, decidiu-se apresentar apenas o conjunto de técnicas desenvolvidas para os modelos de processos estatísticos pontuais, visto serem estes últimos os mais adequados a aplicar aos sistemas reparáveis, nomeadamente no estudo efectuado neste trabalho.

Como já foi referido, é sabido que os sistemas reparáveis são sujeitos a muitos processos de manutenção, preventiva e correctiva, o que pode influenciar o intervalo de tempo entre falhas. Segundo Dias *et al.* (1999) ao iniciar-se qualquer estudo é fundamental analisar a tendência dos dados disponíveis.

A análise de um sistema reparável deverá ser realizada sobre um conjunto de dados significativos e além disso será necessário conhecer a ordem cronológica das ocorrências. Para sistemas reparáveis o número de falhas segue, comumente, um Processo de Poisson. (Dias, 2002)

São vários os autores a optar pela utilização do teste de Laplace explicitado atrás para verificar se amostras utilizadas apresentam comportamentos homogéneos. Em Dias *et al.* (1999) é demonstrada a utilização de processos estocásticos pontuais na análise do comportamento de uma rede de distribuição de energia eléctrica. Para tal foi modelado uma amostra de dados de tempos de falha referentes ao sistema reparável, onde utilizaram o teste de Laplace para caracterizar a tendência da taxa de falhas do sistema para o período de estudo considerado.

Stillman (1999) é outro autor que utiliza o teste de Laplace para confirmar a presença de um Processo de Poisson Homogéneo num estudo envolvente de sistemas reparáveis. No entanto, ele recorre ainda à análise gráfica entre o número cumulativo de falhas versus o tempo cumulativo de funcionamento dos sistemas, considerando que este deverá ser o primeiro passo a dar no estudo de análise do comportamento global de sistemas reparáveis.

Em Bohoris (1996a) e Bohoris (1996b) também está bem patente que a utilização do teste de Laplace é um teste estatístico ajustado para verificar a tendência da taxa de falhas em sistemas reparáveis.

Os modelos de Processo Estocástico Pontuais possíveis de aplicar aos sistemas reparáveis devem considerar o tipo de Processo de Poisson associado aos dados. Assim, em função do comportamento aleatório ou não dos mesmos, poder-se-ão considerar diversos Processos de Poisson.

2.8.1. Processos de *Poisson* Não Homogéneos (PPNH)

Gonçalves (2005) afirma com base em Ansell e Phillips (1989) e Dias (2002) que o resultado do teste de Laplace é excelente para testar a presença de um Processo de Poisson Não Homogéneo contra um Processo de Poisson Homogéneo. O teste é, de facto, uma análise de tendência pelo que, em presença de um PPH e em situações onde se pretenda efectuar uma análise mais detalhada, ter-se-ia de testar a independência dos dados. No entanto, na maioria das situações práticas, o Teste de Laplace é suficiente para identificar os Processos de Poisson presentes nos dados.

Um PPNH caracteriza-se por uma taxa de falhas dependente do tempo significando que, ao longo do tempo, os intervalos de tempo entre falhas tendem ou a aumentar ou a diminuir.

Assim, nessa situação poder-se-á estar diante de uma de duas situações: um sistema reparável com taxa de falhas decrescente – ROCOF decrescente, ou um sistema reparável com taxa de falhas crescente – ROCOF crescente.

2.8.1.1. Sistemas com Taxa de Falhas Decrescente (Modelo de *Crow*)

Nos sistemas com ROCOF decrescente existe uma tendência para o aumento dos intervalos de tempo entre falhas. Um sistema que apresente uma taxa de falhas decrescente indica que a sua fiabilidade melhora ao longo do tempo. Assim, do ponto de vista da manutenção, as intervenções que lhe forem atribuídas estarão constantemente a melhorar a referida fiabilidade do sistema.

Segundo Dias (2002), os sistemas com tendência para uma taxa de falhas decrescente podem ser analisados pelo Modelo de Crow, também vulgarmente conhecido por “Modelo de Fiabilidade Crescente”. Este modelo foi desenvolvido por Crow (1974). O modelo referido constitui uma reformulação do Modelo de Duane. Os objectivos deste modelo são o de calcular valores estimados da taxa de falhas e estimar o valor de MTBF

para as falhas mais recentes. Permite ainda definir intervalos de confiança para o MTBF estimado.

O número de falhas por unidade de tempo de um sistema reparável pode ser definido por:

$$\rho(\tau) = \frac{d\{E[N(\tau)]\}}{d\tau} \quad (2.2)$$

Onde o número esperado de falhas representado por $E[N(\tau)]$, será:

$$E[N(\tau)] = \hat{\lambda}\tau^\beta \quad (2.3)$$

Assim, segundo o Modelo de Crow a estimativa da taxa de falhas será dada por:

$$\rho = \hat{\lambda}\beta\tau^{(\beta-1)} \quad (2.4)$$

Onde τ representa o tempo de duração do teste. A estimativa das constantes do modelo pode ser facilmente obtidas pela função de máxima verosimilhança. Para dados censurados por tempo as estimativas de $\hat{\beta}$ e $\hat{\lambda}$ serão, respectivamente:

$$\hat{\beta} = \frac{n_f}{\sum_{i=1}^{n_f} \ln \frac{T}{\tau_i}} \quad (2.5)$$

$$\hat{\lambda} = \frac{n_f}{T^\beta} \quad (2.6)$$

Onde T representa o tempo total de duração do teste, τ_i o tempo de vida no momento da falha no sistema e n_f é o número total de falhas para o período do teste considerado.

O inverso da taxa de falhas, para as falhas mais recentes será dado por:

$$\theta = \frac{1}{\hat{\lambda}\beta\tau^{(\beta-1)}} = \frac{1}{\rho} \quad (2.7)$$

Por último, apresenta-se o modo de como se irão obter os intervalos de confiança para o MTBF inicialmente estimado:

- Limite Inferior: $\theta_i = \theta\pi_1$ (2.8)

- Limite Superior: $\theta_s = \theta\pi_2$ (2.9)

Os valores de π_1 e de π_2 , são obtidos directamente das respectivas tabelas (Anexo 5), para o intervalo de confiança desejado.

Kobbacy e Jeon (2002) recorreram ao modelo de Crow depois de terem verificado, através do teste de Laplace, qual o tipo de taxa de falhas existente nos dados da amostra, com o propósito de otimizar a programação das intervenções de manutenção preventiva de sistemas reparáveis.

Doyen e Gaudoin (2002) também se referem ao modelo de Crow como sendo o mais usual e prático de aplicar às acções de manutenção preventiva e de manutenção correctiva, nomeadamente, serviços de reparação mínimos de emergência.

2.8.1.2. Sistemas com Taxa de Falhas Crescente

Nos sistemas com um ROCOF crescente, os intervalos de tempo entre falhas propendem a diminuir ao longo do tempo adivinhando a degradação ou uma casual tendência de envelhecimento do sistema. Assim, um sistema que apresente uma taxa de falhas crescente quererá dizer que a sua fiabilidade se agrava ao longo do tempo.

Quando o gestor da manutenção de uma determinada Empresa se depara com uma situação semelhante à retratada acima, saberá que alguns componentes ou mesmo todo o sistema está a atingir um ponto sem retorno.

O que se pretende demonstrar é que, chegado a este ponto, ou é decidido e se avança para uma substituição integral de todo o sistema por um novo, ou o sistema actual deverá sofrer um severo processo de reabilitação.

A utilização do teste de Laplace quando um sistema reparável mostra a tendência de redução ao longo do tempo, terá a incumbência de dar valores da estatística amostral positivos e fora do intervalo de admissão do teste.

Segundo O'Connor (2002), quando se está perante uma taxa de falhas significativamente crescente, não interessa utilizar estimadores, é deveras mais importante e relevante para a Empresa rastrear as causas das falhas ou verificar se o equipamento está no final do seu tempo de vida útil.

Dia (2002) apresenta três situações possíveis para se estar numa situação em que se tem um sistema reparável com uma taxa de falhas crescente:

- Existência de uma causa assinalável, como por exemplo a influência de um operador, que pode provocar a tendência verificada nos dados, ou as condições

de trabalho severas em que os equipamentos trabalham; nestas situações, após correcção da causa especial, o sistema deverá apresentar um comportamento aleatório;

- Componentes com a função de risco crescente estão a influenciar o comportamento do sistema; nestes casos, uma intervenção de manutenção, nos referidos componentes, pode ser a solução mais correcta;
- O sistema atinge o termo da sua vida útil, não sendo justificativo nem rentável financeiramente para a organização o processo de modelação do seu comportamento.

2.8.2. Processos de *Poisson* Homogénios (PPH) – *MTBF*

Um Processo de Poisson Homogéneo caracteriza-se por apresentar uma taxa de falhas constante no tempo, ou seja, apresenta um ROCOF constante. Numa representação gráfica das falhas em função do tempo de vida do sistema no momento da falha, os dados irão afigurar-se de acordo com uma sequência aleatória.

Dias *et al.* (1999) referem que em circunstâncias particulares associadas a aspectos físicos dos sistemas em análise, pode surgir a necessidade de se testar a dependência dos dados. No entanto, os mesmos autores referem que em situações práticas é suficiente a aplicação do teste de Laplace para considerar válido o pressuposto da tendência dos dados.

Dias *et al.* (1999) afirmam ainda que os dados em que os intervalos de tempo entre falhas são IID, pertencem aos denominados Processos Renovados (RP – *Renewal Process*). Nesse caso, se o número de dados for suficiente pode-se ajustar uma distribuição estatística e a partir da mesma determinar a fiabilidade do sistema.

Segundo Dias (2002), um Processo Renovação pode ser definido como uma sequência interminável de variáveis aleatórias positivas independentes e identicamente distribuídas, o qual constitui a generalização do PPH. Então, um Processo de Poisson Homogéneo será definido como uma sequência de variáveis aleatórias positivas exponencialmente distribuídas. Dias (2002) afirma que um processo estocástico pontual $\{N(t), t \geq 0\}$ é um PPH se:

- i. $N(0) = 0$
- ii. $\{N(\tau), \tau \geq 0\}$ é incrementado de uma forma independente

- iii. O número de falhas em qualquer intervalo $\Delta\tau$ segue uma distribuição de Poisson com um valor médio de $m = \lambda_0 \cdot \Delta t$.

Nestas condições, Dias (2002) refere que a expressão 2.10 possibilita a estimativa da fiabilidade do sistema reparável, para um determinado intervalo de tempo Δt , onde λ representa a taxa de falhas do sistema:

$$R(\Delta t) = e^{-\lambda \Delta t} \quad (2.10)$$

Esta expressão representa a generalização do Processo de Poisson para um sistema com um número médio de falhas $m = \lambda \Delta\tau$, para um intervalo de tempo $\Delta\tau$, e corresponde, para a distribuição de Poisson, à probabilidade de zero falhas, que pode ser obtida pela seguinte equação:

$$P(X = k) = \frac{e^{-m} m^k}{k!} \quad (2.11)$$

A equação 2.11 representa a função densidade de probabilidade da ocorrência de k falhas, o que para $k = 0$ daria $P(X = 0) = e^{-m}$.

Em situações onde o sistema possua taxa de falhas constante, a reprodução gráfica do número de falhas em função do tempo de vida no instante da falha, apesar dos dados apresentarem uma sequência aleatória, é possível ajustar uma recta ao percurso dos pontos. Logo, o sistema não apresenta tendência e segue um PPH. Como já foi referido anteriormente, a representação gráfica não deverá substituir a utilização do teste de Laplace.

Segundo O'Connor (2002) quando se está numa situação em que se tem um sistema com taxa de falhas constante e por conseguinte, segue um processo estatístico independente e identicamente distribuído, pode-se analisar a fiabilidade com a determinação do MTBF.

Como a distribuição estatística é a distribuição exponencial negativa, caracterizando-se esta por uma função de risco constante, então esquecendo-se a sequência cronológica das falhas, o inverso do valor do MTBF previamente determinado será o valor da taxa de falhas:

$$\lambda = \frac{1}{MTBF} \quad (2.12)$$

E o número médio de falhas será $N(\tau) = \lambda\tau$, onde τ caracteriza o tempo do período de tempo de funcionamento do sistema.

Assim, depois de se verificar num sistema independente e identicamente distribuído e que conjuntamente apresenta uma taxa de falhas constante, comprovado mediante utilização do teste de Laplace, apresenta-se de seguida as expressões que permitirão determinar o tempo médio entre falhas (MTBF) bem como o tempo médio mínimo entre falhas para um determinado nível de significância, isto é, o mínimo de MTBF para o qual a taxa de falhas é máxima θ_i , sendo que T representa o tempo de duração do ensaio onde ocorreram n_f número de falhas.

$$MTBF = \frac{T}{n_f} \quad (2.13)$$

$$\theta_i = \frac{2 \times T}{\chi_{\alpha, 2(n_f+1)}^2} \quad (2.14)$$

O que se pretende é identificar quais as ferramentas que irão ser efectivamente utilizadas na prática neste estudo. Deste modo, quando se estiver perante uma sistema com taxa de falhas constante, ir-se-á determinar não só o estimado pontual, mediante expressão 2.13, mas também um intervalo e confiança para o estimador do tempo médio entre falhas.

No entanto, Dias *et al.* (1999) refere que apesar do sistema se comportar como um PPH, e de os tempos desde a última falha seguirem uma distribuição exponencial negativa, não significa que os componentes do sistema reparável manifestem uma função de risco constante.

2.9. Distribuição de Weibull

A distribuição de Weibull é uma das distribuições estatísticas com maior aplicação na análise estatística das falhas. Esta distribuição possui uma grande aplicabilidade, sendo que os seus parâmetros podem ser ajustados. Deste modo, através da sua capacidade de adaptabilidade e ajustamento da distribuição estatística dos dados dos sistemas, esta distribuição permite a realização, através da técnica amostral, predições da vida de sistemas.

Fazer uma descrição gráfica da distribuição dependerá bastante e em grande parte do tipo de sistema que se tem entre mãos, e como tal não são utilizados métodos estatísticos para a determinação da fórmula. Assim, se os pontos de falhas representados se encontrarem perto da linha recta, o ajuste dos parâmetros de Weibull é considerado razoável e por conseguinte é aceite.

No caso de o sistema utilizar valores métricos concordantes com uma distribuição de Weibull, a função densidade de probabilidade pode ser definida com a seguinte expressão:

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta^\beta} t^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \quad (2.15)$$

e a função distribuição de probabilidade será dada por:

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \quad (2.16)$$

onde β será o parâmetro de forma e o η o parâmetro de escala.

A distribuição de Weibull possibilita modelar várias funções de risco. Para funções de risco decrescentes, a distribuição de Weibull comporta-se como uma distribuição Gama. Com valores do parâmetro de forma β igual à unidade a distribuição de Weibull segue uma distribuição Exponencial Negativa. Com valores de β maiores do que a unidade, a função de risco é crescente, aproximando-se da distribuição Normal para valores de $\beta = 3,3$. Logo, pode-se considerar que a função Exponencial Negativa e a distribuição Normal são casos particulares da distribuição de Weibull.

Posto isto, ir-se-á passar de seguida para a apresentação do modelo que foi utilizado na segunda e última fase deste trabalho. Trata-se do Modelo de Riscos Proporcionais.

Depois de estudados os sistemas reparáveis, foi necessário ir a um nível mais “profundo”, isto é, descobrir qual dos referidos sistemas reparáveis e, mais pormenorizadamente, qual ou quais os componentes que maior contributo davam para um risco de falhas mais elevado.

2.10. Modelos de Riscos Proporcionais (*Proportional Hazard Modeling*)

Analisando um sistema que se encontra sob influência de vários factores que possam influenciar o comportamento do sistema (covariáveis) torna-se imprescindível utilizar uma análise de regressão que forneça uma função distribuição de base para o sistema, e que possibilite a avaliação das variáveis explicativas que lhe estão associadas aos tempos entre as falhas.

O Modelo de Riscos Proporcionais (MRP) ou *Proportional Hazard Modeling* (PHM), desenvolvido por COX (1972) é obtido utilizando o método da máxima verosimilhança parcial. A função de risco de base não especificada é multiplicada pela relação de risco das covariáveis significativas do modelo. Estes factores ou covariáveis explicativas, podem ser, entre outros, tipos de materiais, localização, fabricação, modos de operação, características ambientais, tempo de funcionamento, quilómetros percorridos, etc.

Os indivíduos sob estudo podem ser animais, seres humanos, plantas, equipamentos, etc. Assim, o interesse da aplicação do modelo poderá incidir em, por exemplo:

- Nas experiências biomédicas: morte, remissão de uma doença, reacção a uma droga, cura de uma doença, etc.;
- Nas experiências industriais: quebra de um componente electrónico, queima de uma lâmpada, etc.;
- Em demografia: casamento, divórcio, etc.;

Estes métodos nesta área, como já referido, foram estudados e desenvolvidos mais profundamente desde a publicação do artigo científico de Cox . Estes modelos têm como objectivo o estudo de dados amostrais, nos quais a variável de resposta pode ser o tempo até à ocorrência de um novo evento. Assim, este modelo pode ser adaptado de forma a incorporar eventuais covariáveis dependentes do tempo.

2.10.1. Descrição do Modelo

Cox (1972) introduziu uma abordagem não paramétrica conhecida por *Proportional Hazard Modeling*. Este modelo foi estruturado de acordo com a função de risco tradicional definida por

$$h(t; z) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P(t < T \leq t + \Delta t | T \geq t, z)}{\Delta t} \quad (2.17)$$

onde $h(t; z) \cdot \Delta t$ representa a probabilidade condicionada de falha de um componente em Δt dado que não falhou até t .

O PHM considera que as diferentes variáveis fixas devem ter função de risco proporcional, ou seja, a relação $h(t; z_1)/h(t; z_2)$ das funções de risco, para diferentes conjuntos de componentes z_1 e z_2 , não varia com o tempo.

O modelo é representado matematicamente por:

$$h(t; \mathbf{Z}) = h_0(t) \cdot e^{(\beta_1 z_1 + \beta_2 z_2 + \dots + \beta_k z_k)} \quad (2.18)$$

$$R(t; Z) = [R_0(t)]^{\exp(\beta_1 z_1 + \beta_2 z_2 + \dots + \beta_k z_k)} \quad (2.19)$$

em que $h_0(x)$ é uma função de risco de base, arbitrária e não especificada, R_0 é uma função de fiabilidade de base, quando não são especificadas as covariáveis, \mathbf{Z} é a matriz das k covariáveis, $\boldsymbol{\beta}$ é o vector coluna dos k coeficientes da regressão e t (variável dependente) corresponde ao tempo desde a última falha do sistema referido a um determinado subsistema, considerado como componente.

As covariáveis (ou variáveis explicativas) podem ser mensuráveis tais como pressão, temperatura, idade do sistema, ou indicativas representando a presença ou a ausência de certos factores ou componentes do sistema (Bento, Dias *et al.*, 2009).

A função de base não especificada, $h_0(t)$, é modificada, multiplicativamente, pelo valor do exponencial do coeficiente dessa covariável, isto é, pelos subsistemas que, de uma forma significativa, possam influenciar a probabilidade de falha global do equipamento. Se, por exemplo, a covariável z_2 for significativa com um coeficiente correspondente β_2 , o valor dado pela expressão $\exp(z_2 \beta_2)$ representa o aumento/diminuição da função de risco relativamente à covariável de base (relação de risco).

Os coeficientes $(\beta_1, \dots, \beta_p)$ são estimados pela maximização da função de verosimilhança parcial dada por (Cox, 1972)

$$L(\boldsymbol{\beta}) = \prod_{i=1}^k \frac{e^{z_i \cdot \boldsymbol{\beta}}}{\sum_{\ell \in \mathcal{R}(t_i)} e^{z_\ell \cdot \boldsymbol{\beta}}} \quad (2.20)$$

onde k é o número observado de tempos de falha e $\mathcal{R}(t_i)$ o número de elementos em risco imediatamente antes de t_i , isto é, em $\mathcal{R}(t_i) = \{i, (i + 1), \dots, k\}$. A motivação para a utilização da função de verosimilhança parcial reside no facto de que, para um dado

número de elementos e risco $\mathcal{R}(t)$ e dado que uma ocorrência acontece em t , a probabilidade de uma ocorrência em i ($i \in \mathcal{R}(t_i)$) será

$$\frac{h(t; z_i)}{\sum_{\ell \in \mathcal{R}(t_i)} h(t; z_\ell)} = \frac{h_0(t) \cdot e^{z_i \beta}}{\sum_{\ell \in \mathcal{R}(t_i)} h_0(t) \cdot e^{z_\ell \beta}} = \frac{e^{z_i \beta}}{\sum_{\ell \in \mathcal{R}(t_i)} e^{z_\ell \beta}} \quad (2.21)$$

Detalhes da estimativa de máxima verosimilhança de β podem ser obtidas em Kalbfleisch e Prentice (1980).

2.10.2. Validação do Modelo (Resíduos de *Cox-Snell*)

Vários tipos de resíduos foram propostos (Collet, 1994) para validar este tipo de modelos, mas um dos mais utilizados é o de Cox-Snell (Cox e Snell, 1969), definido por

$$\hat{e}_i = -\ln \hat{R}(t_i | z_i) \quad (2.22)$$

Se o modelo ajustado foi o correcto os \hat{e}_i têm uma distribuição aproximadamente exponencial com o parâmetro $\lambda = 1$ (se t_i for uma observação censurada, então, \hat{e}_i é também tratado como censurado). A representação gráfica de $-\ln[R(\hat{e}_i)]$, obtida pelo método de Kaplan-Meier (Kaplan e Meier, 1958), *versus* \hat{e}_i deverá permitir ajustar uma recta na origem com inclinação unitária.

CAPÍTULO 3

DESCRIÇÃO DOS SISTEMAS REPARÁVEIS

3.1. Introdução

Os sistemas reparáveis representam para a manutenção uma componente bastante significativa, em termos económicos dos sistemas e componentes postos à disposição da comunidade que os utiliza diariamente. São exemplos de sistemas reparáveis, entre outros, os meios de transporte diariamente postos à disposição da comunidade, as máquinas industriais que diariamente laboram no mercado português e internacional e que garantem a empregabilidade das populações. Obviamente, no que concerne a este estudo, os sistemas reparáveis mais importantes encontrados são os que decompõem a automotora UQE-S3500, propriedade da transportadora nacional de caminhos-de-ferro – CP, Comboios de Portugal.

Segundo Ascher e Feingold, um sistema reparável deve ser entendido como um conjunto mais ou menos complexo de componentes, cujo objectivo é o de cumprir uma determinada função, em condições previamente estabelecidas e que, quando falha deve ser reparada por qualquer método que não inclua a substituição total do sistema.



Figura 3.1 - Automotora UQE-S3500 propriedade da CP – Comboios de Portugal

A opção pelo estudo das automotoras evidenciadas na figura 3.1, deveu-se à necessidade de enquadrar o estudo da operacionalidade face à sua fiabilidade e manutibilidade. Por outro lado, proporcionou uma avaliação ao Plano de Manutenção Preventiva (PMP) implementado na empresa.

Neste capítulo será realizado uma descrição de como foi feito o trabalho de recolha de dados referentes aos sistemas reparáveis que compõem o material circulante em estudo, visto pensar-se ser fundamental ter-se um contacto preliminar para conhecer os dispositivos e equipamentos, condições de funcionamento e trabalho para a obtenção de alguma sensibilidade por parte de quem ler este estudo.

3.2.Sistemas Reparáveis

Como já foi referido anteriormente, para se conseguir um bom canal de comunicação é imperativo que todos conheçam como foi dividido o sistema, Automotora UQE-S3500, nos seus sistemas reparáveis.

Esta dissecação proporcionará não só conhecer os sistemas reparáveis, mas também dar um conhecimento do propósito da sua existência e qual a sua importância funcional no sistema principal. Está disponível no Anexo 1, Representação dos SR da Automotora UQE-S3500, a estrutura em forma de esquema dos sistemas reparáveis que compõem o material circulante da figura 3.1.

3.2.1. Rolamento e Suspensão - ROS

Todos os veículos ferroviários modernos apoiam-se sobre a via-férrea através de bogies. Dentro destes existem os bogies livres, nos casos das carruagens, vagões e reboques das automotoras e unidades múltiplas e os bogies motores, como é o caso dos bogies das locomotivas e dos veículos motores de automotoras e unidades múltiplas.

Este SR tem sofrido grandes modernizações ao longo do tempo. Por um lado para assegurar cada vez mais o conforto do passageiro e por outro, para se atingirem patamares mais elevados de segurança na marcha do material circulante (diminuição do risco de descarrilamento de material rebocado; condição activa dos rolamentos do conjunto roda – veio; estabilidade estrutural do bogie; condição do sistema de propulsão).

Se num passado relativamente recente um bogie livre era maioritariamente constituído por molas de lâminas, tem-se vindo a observar que os bogies mais modernos têm adoptado molas helicoidais e mais recentemente vêm aparecendo em força os componentes em borracha e pneumáticos na concepção das suspensões. No que se refere à função de amortecimento das oscilações, a mudança tem passado apenas do uso de bielas do tipo “silent-block” para a aplicação em conjunto com estas de amortecedores hidráulicos do tipo KONI.

De um modo geral e simplista, é nos bogies que são acoplados os órgãos de suspensão. Estes podem-se dividir por:

- Suspensão Primária

Apoia-se nos rodados e suporta as cargas descarregadas pela estrutura dos bogies, e estes por sua vez suportam as caixas. São normalmente constituídas por molas helicoidais e amortecedores montados nas caixas de eixo.

- Suspensão Secundária

É montada e suportada pela estrutura dos bogies, recebendo o peso e as cargas oriundas da caixa, através da travessa do *pivot* designada por *Travessa Dançante*, sobre a qual a caixa se apoia, normalmente através de um *pivot* central e de apoios laterais dotados de *patins de escorregamento*.

Para além destas, existe ainda nalguns veículos de transporte de passageiros um suspensão designada por Suspensão Complementar. Esta não é mais do que um reforço da suspensão secundária, e que apenas entrará em serviço quando a carga do material circulante ultrapassar os valores pré estabelecidos.

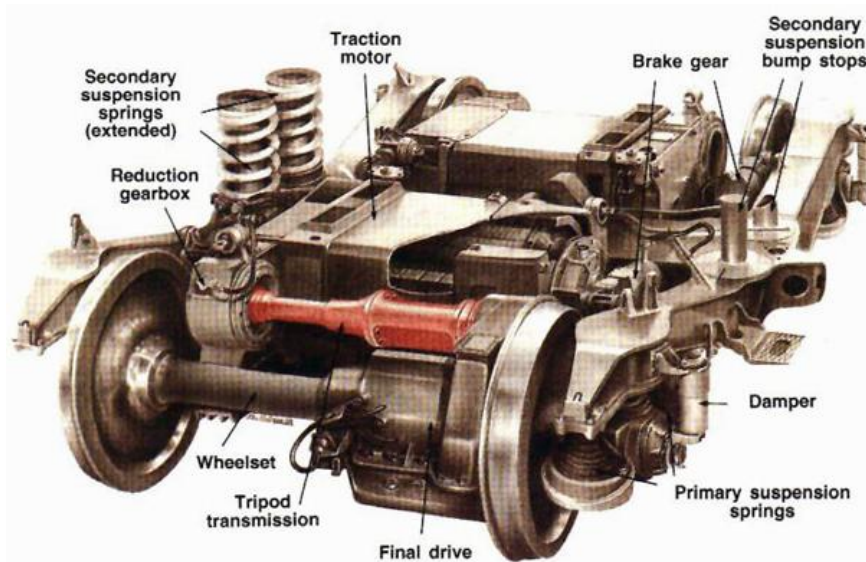


Figura 3.2 - Bogie Motor

Por sua vez e como seria expectável o nível de complexidade é superior quando entramos na área dos bogies motores. Estes para além de possuírem as suspensões já referidas, têm como função o acoplamento dos órgãos de accionamento do material circulante. Entendam-se estes últimos como sendo os motores de tracção, as engrenagens de accionamento, os órgãos elásticos de acoplamento e as chumaceiras de apoio dos motores de tracção sobre as superfícies dos rodados. Estes órgãos de accionamento não são mais do que órgãos de suporte dos motores de tracção, visto estes serem apoiados, de um lado, pelas estruturas dos bogies através de suportes elásticos e, por outro lado, apoiam-se sobre os eixos dos rodados que accionam.

Foi também neste SR que foram contemplados as rodas e rodados do material circulante em estudo. A importância destes componentes é indiscutivelmente importante, pois é indispensável garantir que as condições de contacto entre as rodas e os carris sejam as mais adequadas para assegurar o correcto guiamento das rodas de forma a garantir a necessária capacidade de absorção das cargas estáticas e dinâmicas descarregadas pelas rodas sobre a via.

Por isso, de modo a garantir as condições de segurança indispensáveis à exploração do material circulante, este SR é o responsável pelo controlo apertado sobre algumas das dimensões fundamentais que definem o perfil das rodas, que deverá ser realizado com uma frequência tanto mais intensa, quanto maiores forem quer os percursos feitos pelos veículos quer a velocidade que estes são efectuados.

No entanto, este SR não se ocupa apenas sobre as dimensões do perfil dos rodados. É responsável também pela despistagem da existência de outro tipo de defeitos, tais como fendas, lisos, cristas, saliência exagerada, pele de sapo entre outros.

Para além das respectivas estruturas, órgãos de accionamento, rolamento e suspensão, areeiros e lubrificadores de verdugos e ou de via, este SR tem o pelouro sobre os órgãos e condições de frenagem. Esta pode ocorrer de duas formas distintas: quer pela actuação dos cepos de travão directamente sobre as mesas de rolamento dos rodados, quer pela actuação de calços de freio sobre discos, montados nos veios dos rodados.

3.2.2. Caixa, Tracção e Choque - CTC

Elevando o simplismo ao seu extremo, pensa-se ser de senso comum considerar que uma composição é composta essencialmente por dois corpos principais: toda a estrutura que envolve o material circulante propriamente dito (caixa) e os seus componentes que o constituem.

A Caixa de um veículo ferroviário é a componente que resguarda e protege tudo o que se encontra no interior desse veículo, seja carga ou passageiros. Como se compreenderá, o tipo de caixa dependerá exclusivamente da carga que este transporta. Assim, a caixa poderá ser do tipo fechado ou do tipo aberto, sendo que esta última apenas se poderá encontrar nalguns vagões. A quase totalidade das caixas é fabricada em materiais metálico ferrosos, podendo ser nalguns casos ser de madeira ou de materiais sintéticos.

No caso em que as caixas são metálicas, poder-se-ão dividir em duas grandes famílias, que resultam do modelo de aço utilizado:

- Caixas de Aço ao Carbono – Possui acabamento a tinta, e como tal, o fabricante poderá dar a cor que o cliente pretender, sendo esta uma vantagem do ponto de vista estético. No entanto, como devido a este tipo de acabamento em tinta, existirá o inconveniente inerente à sua conservação e manutenção. As superfícies são lisas e a duração do aço ao carbono é inferior à do aço inox, o que poderá constituir também uma desvantagem.
- Caixas de Aço Inox – Têm um acabamento à cor do material de que são feitas (aço inox). Podem, no entanto, ser pintadas parcialmente conseguindo-se deste modo soluções estéticas agradáveis, embora regra geral isso não aconteça, tirando assim partido das características do material que não oxida. Se não se

recorrer à pintura, este tipo de material oferece poucas soluções do ponto de vista estético, o que poderá ser uma desvantagem. Têm superfícies onduladas (caneladas), conseguindo-se deste modo aumentar a resistência mecânica de chapas de baixa espessura e obter alguns ganho sem termos de tara do veículo. A sua duração é mais elevada que a caixas construídas em aço ao carbono.

A caixa da automotora representada na figura 3.1 é formada por um conjunto autoportante apoiado sobre dois bogies e está equipada com dispositivos de choque e de tracção nas cabeceiras. A disposição geral da caixa é a seguinte:

- Uma cabine de condução
 - Mesa de condução;
 - Um painel por cima da mesa de condução;
 - Um armário de aparelhagem eléctrica de baixa tensão;
 - Um armário de aparelhagem electrónica.
- Um compartimento técnico de aparelhagem que inclui:
 - Um bloco eléctrico para alimentação dos motores de tracção do bogie dianteiro (bloco motor 1);
 - Um conversor estático para alimentação dos serviços auxiliares;
 - A unidade autónoma de climatização e ar condicionado da cabine;
 - O cofre da bateria.
- Um painel de comando do ar condicionado
- Um vestíbulo com duas portas para acesso dos passageiros, que comunica com os pisos superior e inferior através de duas escadas
- Dois salões centrais, um cada piso, ambos dotados de bancos
- Na parte de trás, um vestíbulo com duas portas para acesso dos passageiros que comunica com os pisos superior e inferior através de duas escadas, e o compartimento traseiro; este vestíbulo traseiro dispõe de dois bancos rebatíveis
- Um compartimento para passageiros na parte de trás com quatro bancos e espaço para PMR (Pessoas com Mobilidade Reduzida)
- Um compartimento técnico de aparelhagem, que inclui:
 - Um bloco eléctrico para a alimentação dos motores de tracção do bogie traseiro (bloco motor 2);
 - Um compartimento de aparelhagem de alta tensão

- Um compartimento do transformador

A cabeceira frontal da unidade motora é em poliéster. Um pára-brisas de grande dimensão, em vidro laminado anti-impacto, proporciona ao maquinista uma boa visibilidade e uma protecção eficaz contra possíveis projecteis.

Em cada compartimento existente na automotora, existem duas janelas de emergência situadas na zona central, e quatro janelas basculantes, situadas nas extremidades, para ventilação em caso de falha da climatização.

Nas zonas das portas de acesso, existem degraus fixos nos reboques e degraus escamoteáveis nas motoras, permitem o acesso ao interior dos veículos a partir das diversas plataformas da rede.

A Tracção é o conjunto de equipamentos existentes em todos os veículos ferroviários cuja função é a de permitir a ligação entre veículos de forma a conseguir a formação e reboque de comboios desejável.

Estes equipamentos estão localizados nas cabeceiras do material circulante, em locais bem definidos, de maneira a permitirem a ligação entre qualquer veículo dotado do mesmo tipo de tracção.

Quanto ao sistema de engatagem, existem os seguintes tipos de tracção:

- Clássica – Onde a operação de engatar ou desengatar veículos é realizada manualmente;
- Semi-Automática – Onde a operação de engatar ou desengatar veículos é realizada de forma manual e automática;
- Automática – Onde a operação de engatar ou desengatar veículos é feita sem intervenção humana directa, sendo o operador que, da cabina de condução, efectua as operações necessárias.

Por último, fazem parte do Choque todos os equipamentos existentes em todos os veículos, em locais normalizados, que têm por função suavizar os movimentos irregulares do arranque e paragem dos comboios, mediante a absorção de energias libertadas naqueles movimentos e nos resultantes de encostos de veículos.

Tal como acontece no caso da tracção, no choque também existem diferenças substanciais nos diferentes tipos de engatagem. No entanto, de um modo geral podem-se considerar que os elementos que fazem parte do choque passam essencialmente por: tampões de choque, molas, amortecedores normais e especiais ligados ao engate e acessórios variados.

3.2.3. Produção de Ar e Freio - PAF

Tal como o nome diz, este é o sistema reparável onde serão reportadas todas as falhas desencadeadas por todo e quaisquer componentes e subsistemas relacionados com o sistema de produção de ar e freio.

Foi decidido, de acordo com os parâmetros indicados pela Empresa, dividir este SR em dois temas distintos, embora relacionados. A Produção de Ar e o Sistema de Frenagem.

O recurso a um sistema de freio pneumático é o que permite aumentar as potências de frenagem e diminuir a dimensão dos cilindros de freio. Embora não existam limites físicos para a pressão utilizável, as necessidades de compatibilização entre material circulante distinto levaram à normalização da “pressão de regime” em 5 Bar.

Em comboios compridos o sistema de frenagem é desencadeado por um sistema de comando eléctrico, denominado por Freio Electropneumático – EP. Este sistema surge da necessidade da aplicação simultânea do ar comprimido em todos os pontos de frenagem. Como a aplicação do freio chegava ao seu destino em intervalos de tempo distintos, a utilização de electroválvulas foi considerada como uma boa medida para homogeneizar a aplicação do ar comprimido em toda a composição

Actualmente o ar comprimido tem vindo a ser utilizado noutros sistemas. De entre outros, podem-se referir a elevação dos pantógrafos, os graduadores, portas, suspensões pneumáticas, etc., e mesmo no sistema de freio propriamente dito tem alargado a sua utilização. (Comando de freio de estacionamento).

A produção de ar comprimido, que será usado em diversos equipamentos como referido acima, é assim de enorme importância, devendo garantir a disponibilização das pressões e caudais necessários, bem como a qualidade do ar comprimido quanto à ausência de poeiras, óleos e humidades.

Um sistema típico de produção de ar inclui as seguintes funções:

- Compressão – o compressor é o órgão principal na produção de ar, pois é ele que eleva a pressão do ar atmosférico;
- Purificação – pode consistir apenas numa filtragem de poeiras do ar atmosférico antes de entrar no compressor. Geralmente inclui também um dispositivo doseador à saída do compressor e um ou mais dispositivos de purga da humidade condensada.

Os sistemas mais recentes incluem um verdadeiro sistema de secagem de ar a jusante do compressor, evitando assim a contaminação dos restantes órgãos pneumáticos com água de condensação.

- Regulação de Pressão – este dispositivo permite manter a pressão do ar comprimido dentro dos valores pré-estabelecidos, ligando e desligando o compressor de acordo com as necessidades. Existem ainda válvulas de segurança que descarregam o ar para a atmosfera no caso de subida anormal da pressão.
- Armazenagem – é efectuada num ou mais reservatórios, permitindo dispor de uma reserva de ar comprimido que pode ser usada mesmo que o compressor não esteja a funcionar.

3.2.3.1. Sistema de Freio - SF

O freio a ar comprimido é baseado na existência de uma tubagem, tecnicamente conhecida como sendo a Condução Geral, que percorre todo o comboio e tem as seguintes funções:

- Enviar ar comprimido para utilização pelos órgãos de freio ao longo do comboio;
- Transmitir as ordens de aperto e desaperto do freio a todo o comboio.

Seguidamente apresentam-se duas figuras onde se pretende ilustrar a composição “simplificada” do sistema de freio existente na automotora UQE-S3500 (figura 3.3) e de seguida o funcionamento do mesmo sistema (figura 3.4).

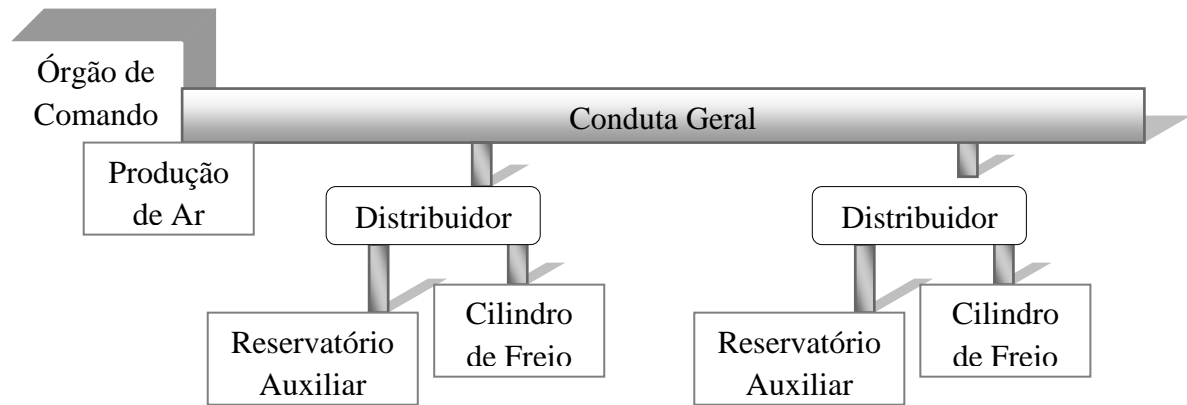


Figura 3.3 - Representação do sistema de Freio a ar comprimido

Na figura 3.4 pode-se ver de uma forma simplificada o modo de funcionamento do sistema de frenagem que está presente na automotora em estudo. Evidência a relação existente entre o utilizador e os distribuidores presentes em cada um dos órgãos actuadores de travagem do material circulante.

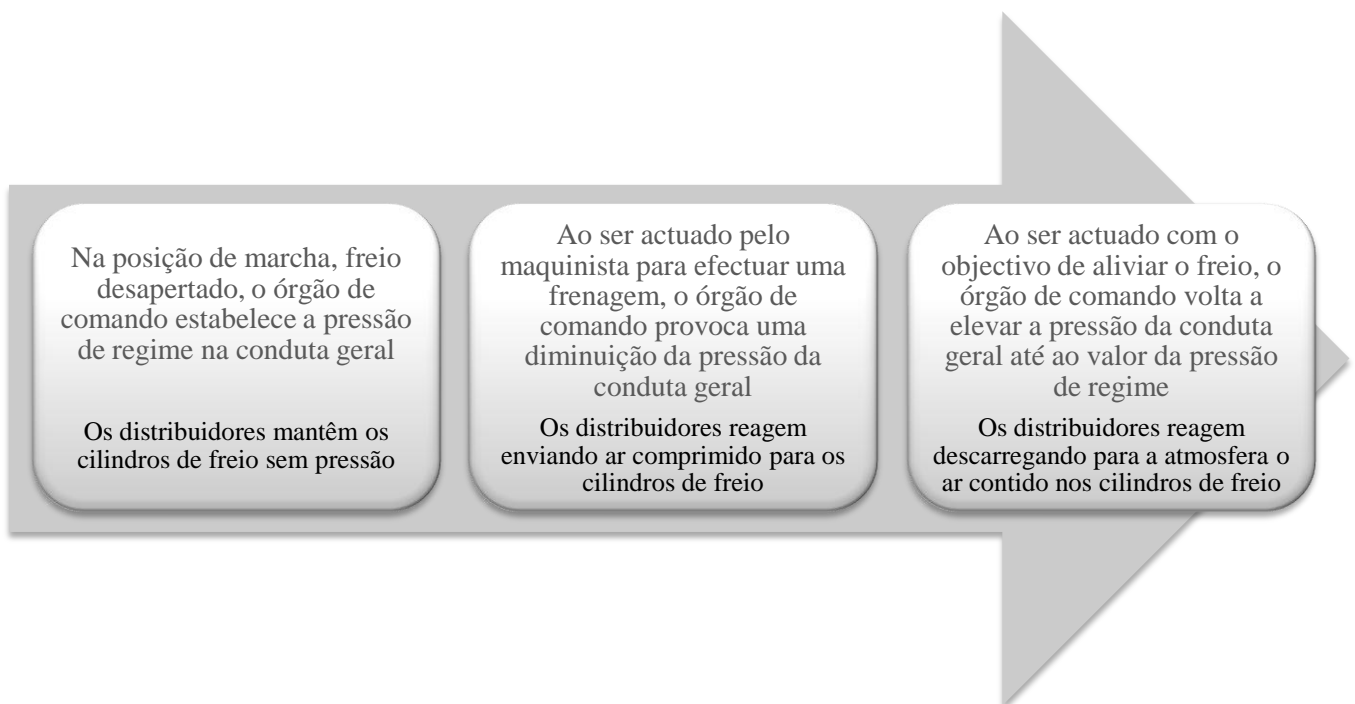


Figura 3.4 – Funcionamento do Sistema de Freio

Mesmo sem a actuação do órgão de comando, qualquer abertura que permita a saída franca de ar da conduta geral, é “entendida” pelos distribuidores como sendo uma ordem de frenagem. Este é o procedimento que acontece quando é accionado um sinal de alarme ou quando as mangueiras se rompem devido à quebra de engates.

Ainda no que respeita a este SR, poder-se-á encontrar mais informações no Anexo 3. Além de incluir informações mais técnicas sobre o SR anteriormente apresentado, discrimina também quais os principais órgãos e definições respeitantes ao PAF.

3.2.4. Potencial Eléctrica - PTE

Para a automotora se poder deslocar autonomamente, precisará de energia eléctrica. Esta está disponível na catenária e tem uma voltagem de 25 KV. Este SR é um dos mais importantes em termos de criticidade de todo o Sistema. Se a captação e preparação da energia que representa o bom ou mau desempenho do sistema de tracção da automotora se fizer de um modo deficiente, todos os outros SR deixarão de ter interesse, isto é, passarão para um segundo grau de importância.

Relativamente ao sistema reparável PTE propriamente dito, considerou-se que fazem parte dele os seguintes subcomponentes principais:

- Transformador Principal
- Graduador;
- Pantógrafo
- Inversor de Marcha
- Disjuntor Principal;
- Resistência *Shunt*
- Contactor Principal

Seguidamente, ir-se-á apresentar cada um destes elementos. No entanto, para uma melhor percepção de quais as suas principais funções e características, consultar o Anexo 3.

3.2.4.1. Transformador Principal - TP

O transformador principal é o órgão que tem como objectivo a adaptação da tensão captada na catenária pelo pantógrafo em valores utilizáveis pelas unidades motoras que constituem a automotora.

Este transformador baixa a tensão da catenária de 25 KV/50Hz para as tensões necessárias à alimentação dos motores de tracção, dos órgãos auxiliares e do aquecimento existente nas galarias onde estão os passageiros e na cabine de condução.

3.2.4.2. Graduador - GRD

O graduador é o dispositivo de regulação que tem como objectivo comutar as tensões provenientes das tomadas do transformador principal para a alimentação dos motores de tracção.

A montagem do graduador é feita directamente no transformador principal. Os seus conjuntos de contactos estão imersos em óleo com propriedades isolantes e permitem os cortes de corrente sem carga. O corte em carga é assegurado pelos contactores principais. Actualmente, este sistema foi substituído por conversores electrónicos de potência conhecidos por GTO (*Gate Turn Off*).

3.2.4.3. Pantógrafo - PTF

O pantógrafo tem como função captar da catenária a corrente de alimentação indispensável para a marcha das automotoras.

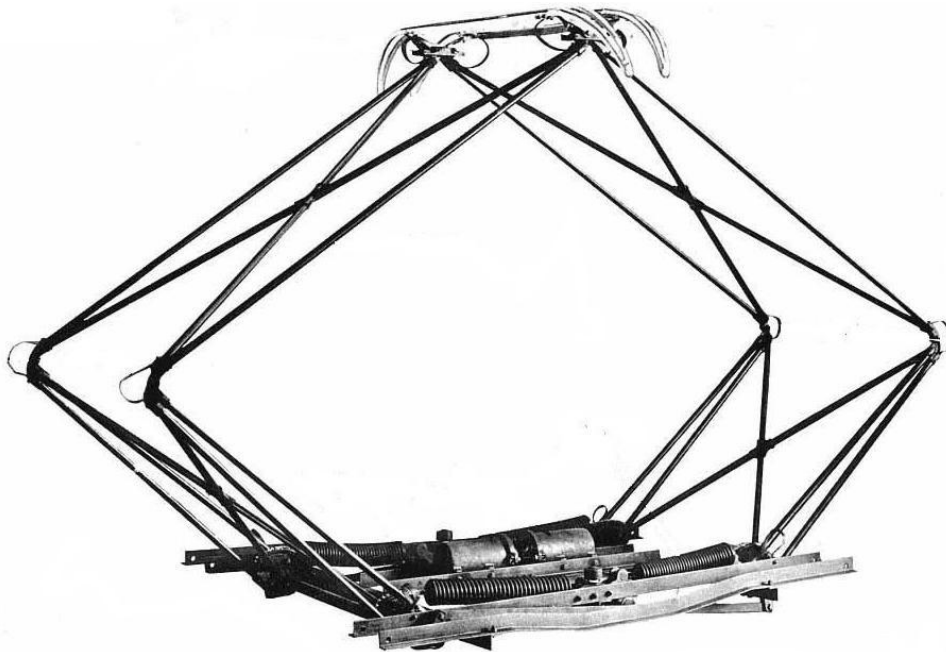


Figura 3.5 - Pantógrafo

O pantógrafo é constituído por:

- Uma plataforma base que assenta no tejadilho do veículo, apoiada em isoladores;
- Duas escovas de carvão que se ajustam à catenária por acção da paletas;
- Braço superior que suporta o conjunto de paletas e escovas;

- Braço inferior que liga a plataforma base ao braço superior.

Na plataforma base encontram-se as molas de recuperação e o acoplamento ao servo motor de accionamento.

3.2.4.4. Disjuntor Principal - DP

O disjuntor principal pode ser considerado como um interruptor electropneumático que tem como finalidade ligar ou desligar à tensão da catenária o circuito eléctrico das unidades motoras.



Figura 3.6 - Disjuntor Principal

Os processos de actuação ligar/desligar são feitos através de um sinal eléctrico à bobina de ligar ou à bobina de desligar que comandam o sistema pneumático.

3.2.4.5. Resistência *Shunt* - RSH

De uma forma muito simples e simplificada, este equipamento passa por resistências que são ligadas em paralelo com cada um dos campos dos motores de tracção.

3.2.4.6. Contactor Principal - CPR

Contactores são aparelhos que têm como função proceder ao corte e comando de correntes fortes. Existem três tipos de contactores: electromagnéticos, electropneumáticos e cames.

Os contactores principais das motoras em estudo são do tipo comandadas por cames. O seu accionamento é feito pelo servo-motor do graduador e têm como objectivo fazer o corte da corrente dos motores em carga, permitindo que o graduador faça a mudança de escalão, em vazio.

3.2.5. Comando e Controlo - COM

Neste ponto ir-se-á dar ao conhecimento o funcionamento e a finalidade dos equipamentos que têm como função o comando, controlo, protecção e segurança dos sistemas de gestão de todos os equipamentos eléctricos, equipamentos auxiliares e acessórios a este SR.

Optou-se por organizar este subcapítulo em duas partes que embora sendo distintas, complementam-se mutuamente. Assim, falar-se-á numa primeira fase sobre o equipamento de comando e controlo e numa segunda fase nos equipamentos de protecção e segurança. Este segundo ponto está disponível no Anexo 3.

3.2.5.1. Equipamento de Comando e Controlo

São os equipamentos de comando e controlo que permitem ao maquinista o comando e controlo correcto das máquinas, neste caso dos equipamentos eléctricos, auxiliares e acessórios. Exemplos deste tipo de equipamentos de comando e controlo são as betoneiras, relés, contactores, combinadores, inversores, etc.

Seguidamente vai-se abordar alguns das funções dos principais equipamentos de comando e controlo.

- Combinador

Os combinadores são órgãos destinados a controlar a velocidade e a força do motor durante a marcha da locomotiva. Normalmente são constituídos por dois veios sobrepostos montados sobre rolamentos, accionados por um jogo de manípulos. Um manípulo serve para inverter o sentido de marcha da automotora, e o outro serve para controlar a aceleração e frenagem da mesma.

- Manípulo de Comando

É um dispositivo que serve para manobrar diversos órgãos de comando e controlo da locomotiva:

- Manípulo do acelerador, comanda a velocidade do motor;
- Manípulo do inversor, para inverter o sentido de marcha da locomotiva.

- Servo-Motor de Graduador

Existem diversos tipos de servo-motores para as diversas finalidades de comando e controlo. Apesar de este estudo tratar de automotoras de tracção eléctrica, deixa-se

apenas a informação, a título de curiosidade, que os servo-motores das locomotivas diesel são comandados hidraulicamente.

Um circuito hidráulico é ligado a um mecanismo que se movimenta por diferenças de pressão. Esse movimento vai fazer actuar um circuito eléctrico que, por sua vez, irá controlar o sistema pretendido.

- Inversores

Os inversores são equipamentos utilizados para mudar o sentido de marcha. Para inverter o sentido de rotação de um motor, é necessário inverter a corrente no induzido ou no indutor. Invertendo a corrente nas dois circuitos, como sucede quando se trocam os dois condutores de alimentação, o sentido da rotação não se altera.

No caso das automotoras, em que se inverte o sentido de marcha com bastante frequência, o inversor é aplicado ao induzido e não ao indutor. Este procedimento serve principalmente para evitar as constantes interrupções da corrente de excitação, e também para prevenir os consequentes efeitos de auto-destruição.

- Relé de Comando e Controlo de Marcha

Chama-se relé a um electroímã que comanda um contacto destinado a abrir ou fechar um circuito à distância. Para a sua excitação é suficiente uma corrente de fraca intensidade.

Num órgão instalado a grande distância do mecanismo de controlo, pode acontecer que a resistência da linha provoque uma queda de tensão considerável, sobretudo se o órgão for de consumo elevado. Para compensar a perda em linha, é necessário empregar um gerador de maior tensão do que a exigida pelo órgão. Deste modo, emprega-se um relé que feche o circuito do órgão.

Os relés são utilizados para comando e controlo de marcha das automotoras, preparar circuitos para o funcionamento de outros órgãos segundo uma dada sequência, ou para proteger os circuitos contra falhas eléctricas, etc. Além de serem utilizados nos sistemas de comando, controlo são empregados também em sistemas de protecção e segurança.

- Motor de Arranque e Bobina de Paragem

O motor de arranque é um motor eléctrico accionado pela bateria, que permite transformar a energia eléctrica em energia mecânica, possibilitando desse modo o início do movimento de rotação do motor.

A bobina de paragem ou relé é comandada pelo interruptor de paragem do motor.

- Onduladores e Pontes de Rectificação

Equipamento que tem o propósito de converter a corrente contínua em corrente alterna. Aplica-se, por exemplo, no circuito de iluminação das carruagens.

- Transformadores

Para adaptar a corrente eléctrica a certos usos, é frequentemente necessário transformar a sua tensão (elevando-a ou baixando-a) ou a sua forma (convertendo a corrente alterna em contínua, ou vice versa). Também, em alguns casos especiais, pode ser necessário transformar a frequência da corrente alterna. Os aparelhos e máquinas destinados a transformar a tensão, a forma ou a frequência da corrente, chamam-se transformadores e classificam-se nas seguintes categorias principais:

- Transformadores Estáticos: aparelhos sem movimento, destinados a elevar ou a baixar a tensão da corrente alternada;
- Transformadores Rotativos: máquinas destinadas a transformar a tensão, a forma ou a frequência da corrente;
- Rectificadores: aparelhos destinados a transformar a corrente alternada em corrente rectificada.

Embora todos os aparelhos e máquinas referidos sejam transformadores de corrente, a designação de transformador é correntemente usada para designar o transformador estático. Os transformadores rotativos são mais conhecidos por conversores rotativos.

- Contactores

Os contactores usados no equipamento de tracção são de dois tipos: contactores electropneumáticos e contactores electromagnéticos.

Os electropneumáticos são actuados pela acção mecânica de um êmbolo dentro de um cilindro pneumático. Os contactores electromagnéticos são actuados por uma bobina de

comando. No caso dos motores de tracção das automotoras, os contactores são utilizados na colocação em serviço.

3.2.6. Climatização - CLM

Para manter a temperatura no interior dos veículos, dentro de valores que confirmam ao passageiro um nível de conforto satisfatório, o material circulante está equipado com sistemas de ar condicionado e ventiladores.

Para além da insuflação de ar quente ou frio nos compartimentos do material circulante, é necessário proceder à renovação do ar dos mesmos. Esta é a razão de existirem os sistemas de ventilação. O ar é admitido ao exterior por tomadas de ar e será filtrado para se garantir uma injeção de ar isento de poeiras. Depois de limpo será conduzido por condutas e introduzido nos compartimentos através de difusores nas zonas laterais, isto é, nos parapeitos interiores das janelas.

Relativamente ao sistema de ar condicionado, o equipamento utilizado neste material circulante é designado por sistemas reversíveis ou bomba de calor. Enquanto os sistemas convencionais executam apenas a função de refrigeração, o sistema de bomba de calor tem dupla função: refrigeração e aquecimento do ar.

Este equipamento de climatização que equipa a UQE-S3500 é composto fundamentalmente por um compressor, um condensador, uma válvula de expansão e um evaporador, além do bloco de comando e controlo.

O compressor tem a função de comprimir um fluído. Como se sabe, um fluído ao sofrer uma diminuição de volume sofre um aumento de temperatura. O fluído a uma elevada pressão e temperatura vai em seguida passar no condensador, que não é mais do que uma serpentina, permutador de calor – rodeado de ar ou água – cedendo parte do seu calor. Mais importante do que a diminuição de temperatura, é o facto de o fluído se condensar.

A válvula de expansão é utilizada para fazer a transição de um diâmetro de tubo para outro bastante superior ao primeiro. Esta expansão faz com que o líquido passe ao estado gasoso.

O evaporador é outra serpentina que vai completar o processo de expansão da mistura líquido – vapor. Para se dar esta evaporação, é necessário fornecer calor ao fluído. Este

calor é retirado normalmente ao meio envolvente do equipamento, normalmente ao ar, que desta forma arrefece. Este ar arrefecido será o ar que se pretende insuflar para dentro dos compartimentos a climatizar.

Os sistemas de ar condicionado reversíveis funcionam da mesma forma como foi anteriormente referido, para o caso da refrigeração. Assim, apenas com a inversão do seu ciclo de funcionamento, o sistema que outrora funcionava como arrefecedor, assumirá o papel de aquecedor. O que equipamento que antes funcionava como evaporador passou nesta situação a funcionar como condensador, e o que funcionava como condensador tomou as funções de evaporador.

Por último, o bloco de comando e controlo de um equipamento de ar condicionado é um sistema inteligente constituído por um microprocessador e um conjunto de sensores de temperatura, colocados em locais estratégicos, que emitem ordens de ligar/desligar automaticamente o sistema, otimizando dessa forma o consumo de energia e mantendo as condições de temperatura no interior dos salões de passageiros em valores que proporcionem um elevado índice de conforto.

3.2.7. Informação ao Passageiro - INP

Este SR e os seus sub componentes mais do que apenas contribuem para o conforto do passageiro. Acima de tudo, têm a função de prestar determinadas informações, como o destino dos comboios, o nome da estação seguinte, temperatura exterior, exibem as horas e por último apresentam informação sobre os motivos de um atraso ou outras razões. Podem fazê-lo de uma forma escrita ou sonora.

Para todas estas funções existem sistemas sonoros e sistemas visuais, sendo estes divididos em:

- Indicadores de Destino
- Painéis de Informação

Estes diversos sistemas podem funcionar de uma forma individual ou de uma forma interligada, reforçando desta forma a mensagem a transmitir ou actuando de uma forma complementar.

Os sinais sonoros são constituídos por um leitor de *compact disc*, uma rede de altifalantes distribuída uniformemente por toda a composição e microfones. O *compact*

disc pode ter a função de entretenimento ou a de prestar informações gravadas anteriormente. É o caso do aviso sonoro da sequência das estações.

Os microfones permitem que, quer o maquinista quer o revisor, possam prestar aos passageiros informações diversas, nomeadamente sobre situações inesperadas, por exemplo, aquando de paragens inesperadas em linha. Nestes sistemas é normalmente possível a comunicação entre cabine de condução – salões e cabine de condução – cabine de condução e ainda a comunicação entre o posto de comando e o maquinista através do sistema rádio solo – comboio.

Os indicadores de destino, tal como o nome indica, têm por fim informar o passageiro sobre o destino do comboio. Estão colocados de forma a serem visíveis do exterior, pois a sua mensagem é essencialmente destinada aos passageiros que se encontram na gare. São colocados nos topos e nas laterais dos veículos.

As mensagens a afixar estão armazenadas na memória do sistema podendo esta ser programável do exterior por interface com um micro computador. Esta característica permite a introdução rápida de novos destinos e a sua operação é muito simples e rápida, pois o maquinista pode seleccionar o destino pretendido, através de uma consola de operação, digitando, por exemplo, apenas o número do comboio.

Os painéis de informação são colocados nos salões de passageiros, e consistem numa matriz de leds que permitem a escrita de caracteres alfanuméricos. Os caracteres podem ser afixados sucessivamente o que permite a escrita de mensagens de grande dimensão. Estas mensagens podem ser o destino, o nome da próxima estação, a hora, a temperatura exterior ou pequenas mensagens muito utilizadas nas épocas festivas.

3.2.8. Auxiliares - AUX

Este Sistema Reparável é um dos mais abrangentes em termos funcionais, visto abranger diferentes áreas do material circulante estudado. Daí ter-se seleccionado o nome de Auxiliares. Dele fazem parte, entre outros, o circuito de areeiros, circuito das baterias, iluminação exterior e interior e a lubrificação do verdugo.

De todos os referidos anteriormente, decidiu-se apenas fazer uma breve apresentação dos sistemas de iluminação, não só por serem os que têm maior visibilidade neste

trabalho de falhas mas também, porque em relação aos outros não se teve muito acesso devido à falta de ocorrências relevantes ao estudo em questão.

Passando então ao sistema de iluminação, considera-se que este é constituído por dois circuitos, denominados circuito de iluminação normal e circuito de iluminação de emergência. O circuito de iluminação normal assegura a iluminação do interior do veículo em regime normal, isto é, quando a tensão da bateria se encontra em valores próximos do valor de tensão nominal. Assim, será relativamente fácil concluir que o circuito de iluminação de emergência entrará em funcionamento quando a tensão na bateria apresentar valores abaixo de um valor pré-definido, de modo a reduzir o consumo da mesma.

O circuito de iluminação normal é, na quase generalidade dos casos, constituído por armaduras equipadas com lâmpadas fluorescentes e balastos de alta frequência. A utilização de lâmpadas fluorescentes prende-se com o facto de estas proporcionarem um maior conforto para o passageiro e de consumirem menos energia, para o mesmo nível de iluminação. Os balastos, são balastos transistorizados de alta frequência, em que a razão de serem incorporados no circuito de iluminação é o facto de reduzirem o efeito estroboscópico, isto é, consiste na redução do “cintilar” das luzes aumentando o conforto. Por outro lado, o tempo médio de vida das lâmpadas revela-se bastante superior com a inclusão deste componente.

O circuito de iluminação de emergência possui várias soluções técnicas, nomeadamente no que respeita ao modo de como e onde está aplicado no material circulante. Uma destas soluções técnicas consiste no aproveitamento das armaduras instaladas e que são utilizadas pelo circuito de iluminação normal. No caso de se optar por esta solução, deverão existir dois ou mais circuitos de iluminação independentes. Sempre que a tensão atinja um valor pré-determinado, é cortada a alimentação a alguns circuitos, ficando apenas alimentados os que constituem o de emergência. O número de lâmpadas que constitui o este circuito dependerá de veículo para veículo. No entanto, apontando para um valor médio, pode-se dizer que o circuito de emergência é constituído por cerca de 25% do total de lâmpadas.

3.2.9. Segurança na Circulação - SCI

Este sistema reparável é um dos mais importantes para uma circulação regular e eficaz de uma composição. Como é compreensível, antes de um motor de tracção fiável ou um sistema de ar condicionado bem regulado, aparece a questão da segurança. Neste ponto abordar-se-á apenas as questões afectas à segurança da circulação.

O primeiro sistema de segurança que se decidiu referir é o que respeita a toda a sinalização eléctrica/luminosa que constitui o material circulante. Este tipo de sinalização engloba os faróis vermelhos de cauda e os farolins de presença obrigatória para a circulação em linha. Existe ainda uma lanterna recarregável para a sinalização em situações de socorro ou de circulação anormal. No entanto, como está referido no capítulo seguinte, este sistema de segurança não influencia as conclusões de todo o trabalho de campo. Isto porque, no caso de algum componente falhar, isso não está directamente correlacionado com a imediata paralisação da automora em linha, e por conseguinte, a repentina exclusão do serviço de transporte de passageiros, salvo raras excepções.

Outro sistema de segurança existente no material circulante, quer seja neste modelo de automotoras, quer em todos os outros tipos existentes no nosso parque ferroviário, é a chamada sinalização de sinalética. Este procedimento de segurança resume-se basicamente a uma bandeira vermelha e uma amarela. Estas deverão ser utilizadas em situações anormais de circulação.

Obviamente que nesta descrição de sistemas de segurança não poderiam ficar esquecidas as tão utilizadas buzinas. Estas fazem parte de um outro sistema, denominado por sistema de segurança de sinalização acústica. Como foi dito, este sistema reduz-se às buzinas de dois tons. Estas utilizam-se como “avisadores” de chegada e partida às plataformas de embarque e desembarque de passageiros, anúncio da passagem da composição em pontos críticos da via, como são os casos de zonas de fraca visibilidade, zonas de obras onde estão máquinas e operários na via-férrea, cruzamentos de passagens de nível entre outros.

Posto isto, ir-se-á de seguida abordar os sistemas de segurança constituintes destas automotoras que apresentaram maior importância no estudo. São sistemas que se caracterizam por ajudar o maquinista no bom e perfeito desempenho da sua função.

Enquadram-se no pelouro da sinalização sonora de segurança e, fazem parte o sistema de detecção de incêndios e o sistema rádio solo. No entanto, os mais importantes são o sistema de Homem Morto e o Sistema de CONVEL – Sistema de Controlo de Velocidade.

3.2.9.1. Sistema Homem Morto - HM

Também conhecido por sistema de controlo de vigilância, este sistema caracteriza-se por, na eventualidade do maquinista se ver incapacitado, o sistema provocará o corte de tracção (nas unidades motoras) e iniciará um processo automático de frenagem de toda a composição. Acção similar à descrita, será accionada em situações onde o sistema de homem morto não seja manobrado convenientemente por parte do maquinista.

Este sistema possui dois métodos distintos de operação. Pode estar dependente do tempo ou dependente da distância percorrida.

No caso de o sistema ser dependente da distância, o maquinista deverá premir e/ou largar um botão ou pedal sempre que o avisador acústico soe. O número de vezes que esta acção necessitará de ser repetida dependerá da distância percorrida. A não observância desta regra provocará a frenagem e posterior imobilização do veículo.

A acção do maquinista, premindo e largando o botão ou pedal, serve para rearmar o sistema e reiniciar o ciclo. Esta acção de rearme executada pelo maquinista após o aviso sonoro já mencionado, terá de ser obrigatoriamente feita. No entanto, não é necessário ao maquinista esperar pelo aviso para rearmar o sistema.

No caso de o sistema ser dependente do tempo, a lógica de funcionamento é idêntica. Apenas que neste caso, o que define a actuação do sistema, e a consequente frenagem em caso de incapacidade ou má operação do maquinista, não será a distância percorrida, mas sim o tempo decorrido.

Cada sistema de homem morto funciona em dois regimes. Regime de marcha lenta e regime de marcha rápida. Os regimes são complementares e entram em funcionamento alternadamente: marcha lenta – marcha rápida – marcha lenta – marcha rápida – ... o princípio de funcionamento é idêntico em ambos os casos, residindo a única diferença no tamanho do ciclo. Por norma, os sistemas dependentes da distância são mecânicos, enquanto os sistemas temporizados são electrónicos.

3.2.9.2. Sistema de CONVEL - CVL

Este sistema reparável foi porventura, como se verá adiante, o mais importante deste grupo de sistemas constituintes da segurança na circulação. Não só pela sua importância estratégica associado ao material circulante em serviço, mas também pela suas características revolucionárias, erguendo os padrões da segurança em circulação para níveis mais elevados.

Actualmente, cerca de cinquenta por cento dos caminhos-de-ferro portugueses estão equipados com este sistema de segurança. De notar que se está a falar em cerca de 1400 Km, com componentes e materiais distribuídos, especificamente dedicados para o bom funcionamento do sistema.

O objectivo deste sistema CONVEL, tal como as suas iniciais indicam, é impedir que os comboios excedam os limites de velocidade impostos e ultrapassem sinais fechados, informando o maquinista de que deve frear ou freando automática quando as condições de segurança o exigem, de forma a parar a composição antes do ponto perigoso.

A constituição deste sistema divide-se em duas fracções distintas. Possui componentes na via e na unidade motora. Ou seja, para o seu correcto funcionamento é necessário existirem dois elementos de material. Os componentes de terreno e os componentes embarcados.

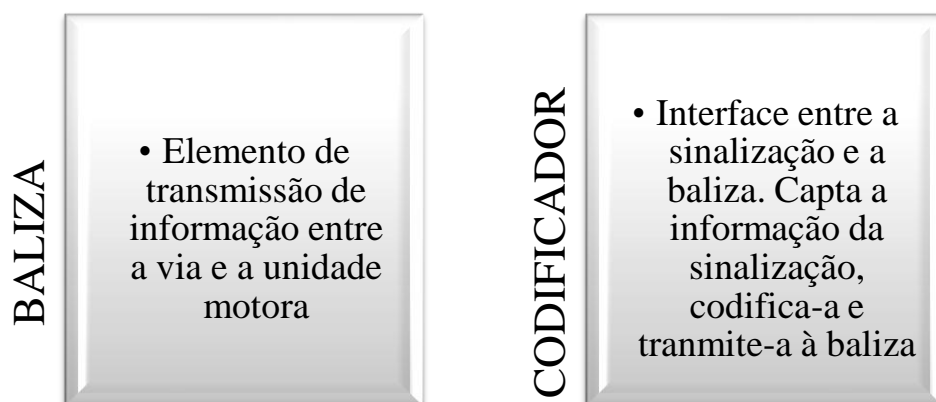


Figura 3.7 – Sistema de CONVEL presente na via

Por sua vez, os componentes embarcados serão:

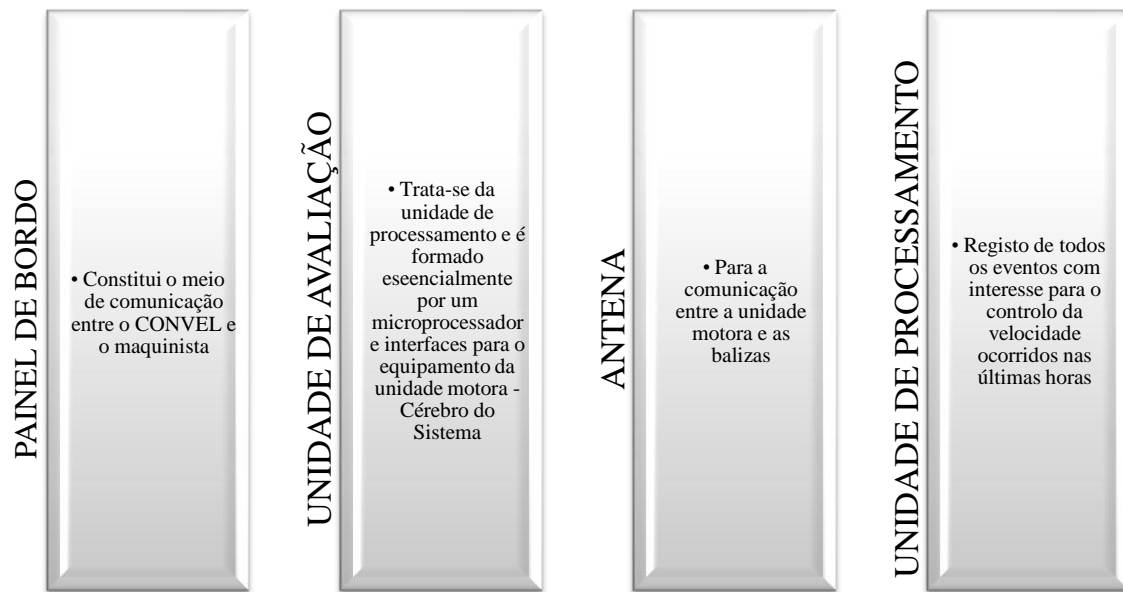


Figura 3.8 - Sistema de CONVEL presente na unidade motora

O sistema de CONVEL mantém a liberdade de acção do maquinista na sua condução, mas em casos de perigo, actua automaticamente a frenagem, obrigando a composição a imobilizar-se.

Segundo Tomé (2009), funcionamento deste sistema inicia-se pela recolha no terreno de informações, que depois serão transmitidas para bordo das unidades motoras. Essa comunicação contém informação correspondente a aspectos da sinalização lateral, restrições de velocidade ou a outras informações fixas, como é o caso de distâncias ou mesmo declives do terreno. A troca de informação dá-se no preciso momento em que a unidade motora passa sobre equipamentos designados por balizas, que se podem encontrar no eixo da via.

As informações fixas são programadas de forma permanente nas balizas, enquanto que as de carácter flexível, são recebidas através dos sinais luminosos de circulação e transmitidas às balizas por equipamentos designados por codificadores. As informações, tratadas a bordo em conjunto com os dados próprios do comboio (velocidade máxima, velocidade real, aceleração de frenagem, etc.), permitem a supervisão da marcha do comboio, dando informações ao maquinista sobre as velocidades a cumprir e emitindo avisos sonoros ou comandando automaticamente a frenagem caso a segurança o exija.



Figura 3.9 – Balizas em plena via

Na figura 3.9, pode-se ver as balizas colocadas na linha férrea. A sua orientação em relação à linha e a distância a que estão da sinalização vertical. Esta última pode variar.

Na figura seguinte, 3.10 pode-se ver um dos componentes que constituem o subcomponente CVL, que constitui o sistema reparável SCI. Faz-se, naturalmente, incidência à antena. É este o órgão responsável pelo envio e recepção da informação que se encontra embarcado.



Figura 3.10 - Componente antena do sistema reparável SCI

De seguida, e apenas a título de exemplo, mostra-se na figura 3.11 o painel do maquinista que comanda e comunica com o maquinista aquando do funcionamento do sistema de CONVEL.

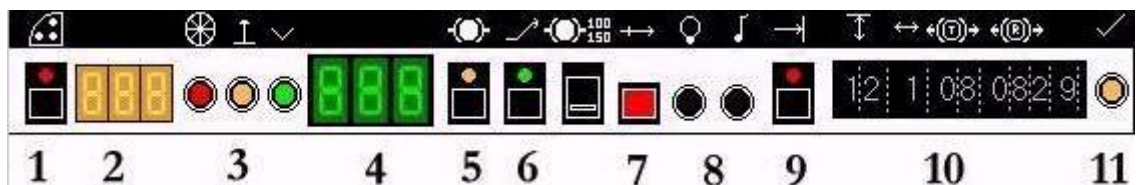


Figura 3.11 - Painel do Maquinista

Sendo este um sistema que apenas recebe a informação através de balizas instaladas na via, geralmente junto aos sinais mas também noutros pontos caso necessário, e essa troca de dados é feita pontualmente, apresenta algumas vantagens e desvantagens.

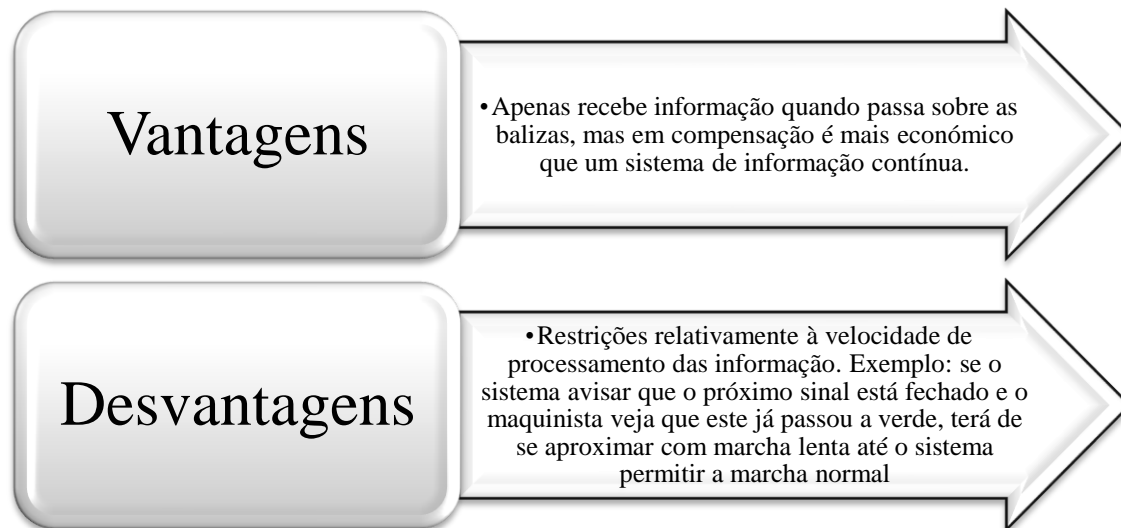


Figura 3.12 - Vantagens e Desvantagens do sistema de CONVEL

Ainda neste sistema reparável existem outros sistemas, os quais foi decidido de identificar como *Outros Sistemas de Segurança na Circulação*. Apesar de terem uma taxa de utilização inferior aos restantes, a sua importância para a segurança encontra-se nos mesmos padrões de relevância. Encontram-se consultáveis no Anexo 3.

Posto isto, pensa-se que o próximo capítulo se irá tornar mais perceptível, nomeadamente quando se referir certo ou determinado componente, subcomponente e/ou sistema reparável.

CAPÍTULO 4

ANÁLISE DOS SISTEMAS REPARÁVEIS

4.1. Introdução

Sendo o estudo a realizar fundamentado em dados estatísticos e verificando-se uma elevada dependência da variável identificada como os quilómetros percorridos, é fundamental a preparação da base de dados com todos os registos rigorosos de todas as ocorrências (falhas) registadas nos sistemas reparáveis em estudo, que de alguma forma possam influenciar a tomada de decisão, no que concerne na avaliação do PMP implementado. A recolha da informação é um trabalho imprescindível e de extrema importância. Não só para se chegarem aos resultados esperados mas também para que se obtenha um conhecimento profundo da realidade em que se inserem esses sistemas.

A análise dos dispositivos e equipamentos, condições de funcionamento e trabalho, constituem tarefas necessárias à aquisição de alguma sensibilidade por parte de quem realiza o estudo. Como será perceptível, não se poderão desprezar os acontecimentos exteriores e mudanças de condições de trabalho que têm acção directa sobre a Fiabilidade e Manutibilidade das automotoras em causa.

Uma vez que se deseja aplicar métodos de análise estatística para compreender as ocorrências e os respectivos tempos dos acontecimentos, a forma como são obtidos os dados pode condicionar todo o trabalho futuro.

Neste capítulo descrever-se-á o trabalho realizado na recolha dos dados referentes aos sistemas reparáveis que compõem a automotora. Será também apresentada a base de dados e a sua idealização de construção, contendo tempos de vida e intervalos de tempo entre falhas consecutivas. Por último, serão descritas e diagnosticadas as causas para cada uma das ocorrências verificadas nos diversos sistemas reparáveis em causa, responsáveis pela paragem em linha do material circulante em estudo.

4.2. Caracterização das Falhas

Para levar a cabo esta tarefa de avaliação do PMP, nomeadamente no que se refere ao nível de importância dado a cada um dos sistemas reparáveis, onde se incluem também as periodicidades, começou-se por fazer um levantamento do histórico das falhas ao nível operacional. O universo de dados foi desde Janeiro do ano 2000 até à data de início deste estudo, 30 de Março de 2009.

O estudo realizado foi acima de tudo, nesta primeira fase, um trabalho intensivo de recolha e interpretação estatística de um histórico de falhas disponibilizado pela Empresa². Como a unidade de medida entre falhas utilizada recaiu nos quilómetros realizados pelo material circulante, foi necessário nesta fase estabelecer a perfeita relação entre a identificação numérica do material circulante em questão, os quilómetros efectivamente realizados e qual o tipo de falha, visto existirem nos registos três tipos de falhas. Incidir-se-á mais à frente sobre esta última questão.

Julga-se ser importante evidenciar o facto de se ter optado pelos quilómetros, como unidade de medida entre falhas. A outra alternativa a que também se teve acesso foi a base temporal diária. No entanto, a escolha recaiu nos quilómetros pelo facto de se estar a falar de máquinas que nem sempre se encontram ao serviço. Isto é, podem-se achar apenas em estado de disponibilidade, em parque. Exemplos dessas situações são as automotoras que se encontram imobilizadas em parque em situação de reserva. Estão paradas e só irão entrar ao serviço caso se verifique essa necessidade, quer por indisponibilidade de outro material circulante, quer por situação de falha de outra automotora.

4.2.1. Tipos de Falhas Estudadas

Como foi referido em cima, foram identificados três tipos de falhas no histórico que foi disponibilizado pela Empresa. Esta distinção é reconhecida no seio da Empresa como sendo o Sistema de Classificação de Avarias e Incidentes (SCAI). Este apresenta-se na figura 4.1, de seguida apresentada.

² É importante referir que os dados base utilizados na realização deste estudo estatístico foram disponibilizados e recolhidos no sistema de integração de informação SAP, nomeadamente no gabinete da CP Frota sito em Campolide.

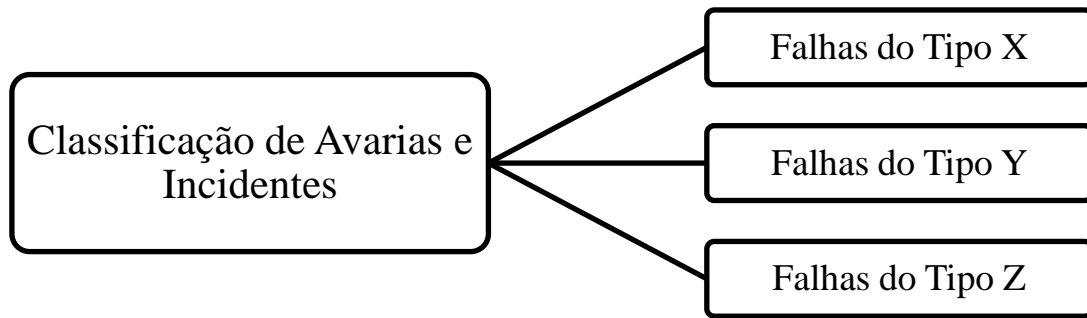


Figura 4.1 - Classificação de Avarias e Incidentes

Como se pode constatar na figura 4.1, o SCAI, contempla diferentes tipos de falhas. Estas diferem entre si quer pela natureza da falha, quer pela imputabilidade à responsabilidade da Empresa, visto ser esta que procede à manutenção deste tipo de material circulante.

Deste modo, as únicas falhas que foram consideradas no estudo foram as que se enquadram na segmentação do Tipo Z. Serão estas que recaem directamente na alçada da EMEF, visto serem as que são encaradas como as *Falhas de Material*. Isto é, são estas que estão codificadas como sendo aquelas que são directamente imputáveis na responsabilidade da Empresa. Poder-se-ão encontrar no sistema SAP com os códigos que anunciam Manutenção Deficiente, Reparação Deficiente, Material Deficiente, Falta de Sobressalentes e Falhas em Cadeia.

As restantes falhas identificadas como sendo aquelas do tipo X e Y, como não recaem dentro do círculo de responsabilização da manutenção propriamente dito da Empresa, foram desprezadas. Poder-se-á encontrar mais informação sobre este SCAI no Anexo 2 – Informação SCAI, SCFM e Código de Falhas.

Todo o universo de falhas identificado como pertencente à tipologia Z é designado como uma ocorrência. Deste modo, uma ocorrência poderá ser definida como uma falha que ocorre durante o período de exploração, ou seja, surge no período que é reconhecido como “em trânsito”. No entanto, de todas as ocorrências identificadas somente um tipo foi estudado.

Como o objectivo é o de estudar as falhas que provocaram a indisponibilidade do material circulante, apenas as que ostentavam a designação de *IN* no histórico foram

escolhidas de forma a fazerem parte do estudo estatístico. Esta sigla, *IN*, é uma abreviatura da palavra *Incidente*. Um incidente é uma causa de paragem ocorrida durante a exploração, imputável à EMEF, que é caracterizada por um tempo de paragem em linha de quatro minutos ou mais. Quando se refere que a falha que acabou por se traduzir num incidente “imputável à EMEF”, está-se apenas a sublinhar o facto de a falha ser do tipo Z – Material. Assim, não se confunda imputabilidade com responsabilidade pelo facto da falha ter ocorrido.

Resumindo, já se sabe quais os tipos de falhas que fazem parte do estudo estatístico. No entanto, para a construção da base de dados necessária ao estudo é imprescindível a alocação das falhas pelos sistemas reparáveis previamente identificados. Para tal, foram utilizados os códigos de atribuição em uso na Empresa. Estes são o que compõem o Sistema de Codificação da Função de Material (SCFM). De um modo resumido, é um sistema que é constituído por um código denominado por CFM, e em que cada um deste código está directa ou indirectamente relacionado com um sistema reparável. Tal como o SCAI, o SCFM poderá ser consultado no Anexo 2.

Depois de se terem apresentado as falhas com as quais se trabalhou, as suas características, a sua origem e o que representam no dia-a-dia laboral das Empresas (EMEF e CP Frota), está-se em condições de avançar para a representação e construção da base de dados, com a qual se efectivamente trabalhou.

4.3.Base de Dados e Modelação das Taxas de Falha

Antes de mais, interessa advertir que se optou por uma construção de uma base de dados do género repartido. O sentido que se pretende dar com a aplicação deste termo “repartido”, passa apenas por referir que a base de dados construída foi dividida de acordo com o número da automotora. Ou seja, não foi construída apenas uma base de dados, mas sim doze, uma para cada uma das automotoras.

Decidiu-se ir por este caminho não só para se poderem retirar conclusões para cada uma das automotoras, mas também pelo facto desta ser uma fase preliminar do estudo. Ou seja, de acordo com os resultados aqui obtidos, é que se avançou para a construção da segunda base de dados, de forma a se poder aplicar a o Modelo dos Riscos Proporcionais.

O conhecimento da tendência verificada nas taxas de ocorrência de falhas, permite adequar o tipo de modelo mais indicado para estimativa da fiabilidade (Dias, 2002).

Deste modo, de seguida ir-se-á apresentar as bases de dados para algumas das automotoras, tal como os cálculos efectuados para se concluir acerca da presença de processos de Poisson, através da aplicação do teste de Laplace. Recorrer-se-á ainda à análise gráfica dos dados como complemento, de forma a se poder visualizar qual o comportamento do sistema ao longo do tempo.

Não se irão apresentar de uma forma maciça todos os cálculos realizados, pois tornaria o capítulo bastante extenso e de difícil leitura. Assim, optou-se por colocar toda a informação relativa a cálculos no Anexo 4.

4.3.1. Automotora UQE – 3520

O teste de Laplace, baseado numa estatística amostral, permite verificar se a taxa de falhas é constante, ou se pelo contrário, apresenta alguma tendência (Dias, 2002).

Na tabela 4.1 que se segue, apresenta-se por ordem cronológica os quilómetros que a automotora apresentava no momento de cada um dos incidentes. Assim, na tabela referida, estão representados os quilómetros acumulados aquando da falha, bem como o seu sistema reparável e subsistema respectivo.

Tabela 4.1 - Quilómetros acumulados por falha ocorrida na UQE3520

Ordem	Data da Falha	Histórico Falhas [km]	Sistema Reparável	Subsistema
1	23-01-2000	12424	SCI	ATC3520M
2	03-01-2000	12434	CTC	CAI05
3	26-01-2000	12434	SCI	ATC3520M
4	30-01-2000	12434	SCI	ATC3520M
5	23-07-2000	75119	ROS	MTA04
6	25-08-2000	92630	PTE	PAN08
7	01-01-2001	162444	CTC	CAI05
8	01-01-2001	162444	CTC	CAI05
9	25-05-2001	201013	PTE	CVE14
10	18-06-2002	305732	ROS	BOG62
11	26-08-2002	321972	SCI	ATC3520M
12	28-07-2003	417644	SCI	ATC3520M
13	01-04-2005	610494	PAF	FRP3520M
14	17-10-2006	833585	AUX	CIB3520M
15	28-12-2006	852980	CTC	CAI05
16	06-10-2007	967474	PTE	CVE14
17	20-05-2008	1031962	PTE	CVE14
18	22-10-2008	1095421	SCI	ATC3520M

Na figura 4.2, representam-se graficamente os valores apresentados na tabela 4.1, sendo que no eixo das abcissas está enumerado o histórico das falhas, e por sua vez, no eixo das ordenadas a ordem numérica de cada uma das respectivas falhas. Decidiu-se representar este gráfico, porque de uma forma grosseira podem-se retirar as primeiras conclusões sobre qual o comportamento deste histórico, que compõe a automotora 3520. Assim, grosseiramente, se for possível ajustar uma recta ao conjunto de pontos enumerados, a tendência será a de se estar perante um Processo de Poisson Homogêneo, PPH.

Levando apenas em linha de consideração o gráfico apresentado na figura 4.2, poder-se-á estimar que a taxa de falhas seguirá muito provavelmente uma taxa de falhas decrescente. Porque como se pode visualizar, não se consegue ajustar uma recta ao conjunto de pontos que constituem o histórico. De seguida, poder-se-á comprovar por intermédio dos cálculos realizados.

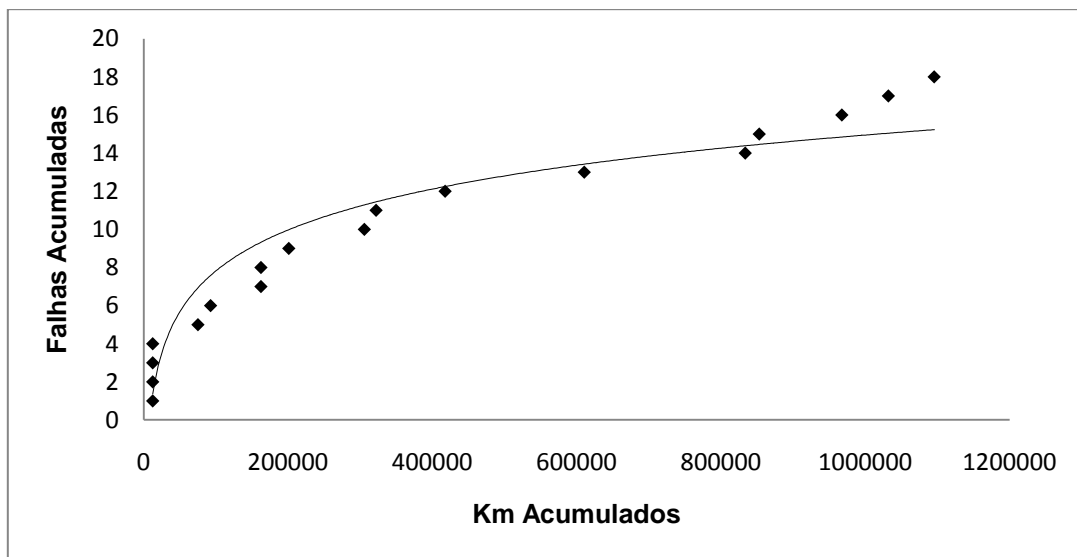


Figura 4.2 - Incidentes UQE3520 em função da quilometragem acumulada

De forma a comprovar as previsões que se fizeram atrás, ir-se-á apresentar os dados realizados para esta automotora. A expressão utilizada, pode ser encontrada no capítulo 2 deste estudo, com o número 2.1. Assim, a aplicação da referida fórmula será utilizada para as dezoito falhas e com um período de observação do teste de 1.300.000 quilómetros.

$$z_0 = \sqrt{12n_f} \left[\frac{\sum_{i=1}^{n_f} \tau_i}{n_f T} - 0,5 \right] = (\sqrt{12 \cdot 18}) \left[\frac{7180640}{18 \cdot 1300000} - 0,5 \right] = -2,838$$

Se for considerado um nível de significância de $\alpha = 0,10$, usualmente mais utilizado, tem-se que: $Z_{\alpha/2} = Z_{0,05} = 1,645$, valor que foi retirado da tabela que poderá ser encontrada no anexo 5.

Uma vez que, $|Z_0| > Z_{\alpha/2}$, rejeita-se a hipótese nula, H_0 , permitindo desta forma garantir a veracidade da análise gráfica anteriormente apresentada. Deste modo, já se sabe que se está perante um Processo de Poisson Não Homogêneo (PPNH), em que o sistema apresenta uma taxa de falhas decrescente.

Neste género de sistemas, taxa de falhas decrescente, existe uma tendência para o aumento dos intervalos de tempo entre os incidentes. Deste modo, pode-se referir que esta automotora, tem aumentado a sua fiabilidade, o que na prática se poderá concluir que as manutenções a que tem sido sujeita têm estado a contribuir para a sua fiabilidade total do sistema que a compõe.

Segundo Dias (2002), os sistemas com tendência para uma taxa de falhas decrescente podem ser analisados pelo Modelo de Crow, vulgarmente conhecido como Modelo de Fiabilidade Crescente.

Utilizando o Modelo de Crow, parte-se para o cálculo da estimativa do MTBF para as falhas mais recentes, utilizando a expressão 2.4, obtendo-se os coeficientes β e $\hat{\lambda}$ de acordo com as expressões 2.5 e 2.6.

$$\hat{\beta} = \frac{n_f}{\sum_{i=1}^{n_f} \ln \frac{T}{\tau_i}} = \frac{18}{\sum_{i=1}^{18} \ln \frac{1300000}{\tau_i}} = 0,4943$$

$$\hat{\lambda} = \frac{n_f}{T^{\hat{\beta}}} = 0,0171$$

Assim, a estimativa da taxa de falhas será:

$$\rho = \hat{\lambda} \beta \tau^{(\beta-1)} = 6,84 \times 10^{-6}$$

Logo, o valor estimado para o MTBF referente à automotora UQE-3520 será dado através da expressão 2.7, e tem o valor de:

$$\theta = \frac{1}{\hat{\lambda} \beta \tau^{(\beta-1)}} = \frac{1}{\rho} = 146114 \text{ km}$$

Este modelo permite ainda definir também intervalos de confiança para a estimativa calculada do MTBF. De acordo com as expressões 2.8 e 2.9, para os quilómetros percorridos neste sistema em estudo, considerando o número de falhas ocorridas, para um nível de significância de 10% ($\alpha = 10\%$), ter-se-á:

$$\text{Limite inferior: } \theta_i = \theta\pi_1 = 146114 \cdot 0,575 = 84016 \text{ km}$$

$$\text{Limite superior: } \theta_s = \theta\pi_2 = 146114 \cdot 1,933 = 282439 \text{ km}$$

Depois de se observarem estes dados, pode-se concluir que o intervalo de confiança definido após a estimação do MTBF, e uma vez que se está perante uma taxa de falhas decrescente, significa que ao longo do período do estudo os intervalos de tempo entre falhas apresentam tendência para aumentar. Este factor, poderá ser entendido como um óptimo factor para a optimização do PMP. Pois, mantendo-se as condições de funcionamento do sistema, as imobilizações para efeitos de manutenção ao equipamento poderá ser aumentado, contribuindo neste caso num maior tempo de disponibilidade em serviço e menor transtorno aos seus utilizadores por imobilizações durante a prestação do serviço.

Já com o objectivo de se introduzir e perspectivar a segunda parte deste estudo, apresentar-se a figura 4.3, onde se pode apontar qual o sistema reparável que mais contribui para as paragens em serviço que ocorreram nesta automotora.

Tabela 4.2 - Número de falhas ocorridas por SR – UQE3520

Sistema Reparável	Frequência Absoluta	Frequência Relativa	Frequência Relativa Acumulada
SCI	6	0,33	0,33
CTC	4	0,22	0,56
PTE	4	0,22	0,78
ROS	2	0,11	0,89
AUX	1	0,06	0,94
PAF	1	0,06	1,00
COM	0	0,00	1,00
CLM	0	0,00	1,00
INP	0	0,00	1,00

E o gráfico correspondente:

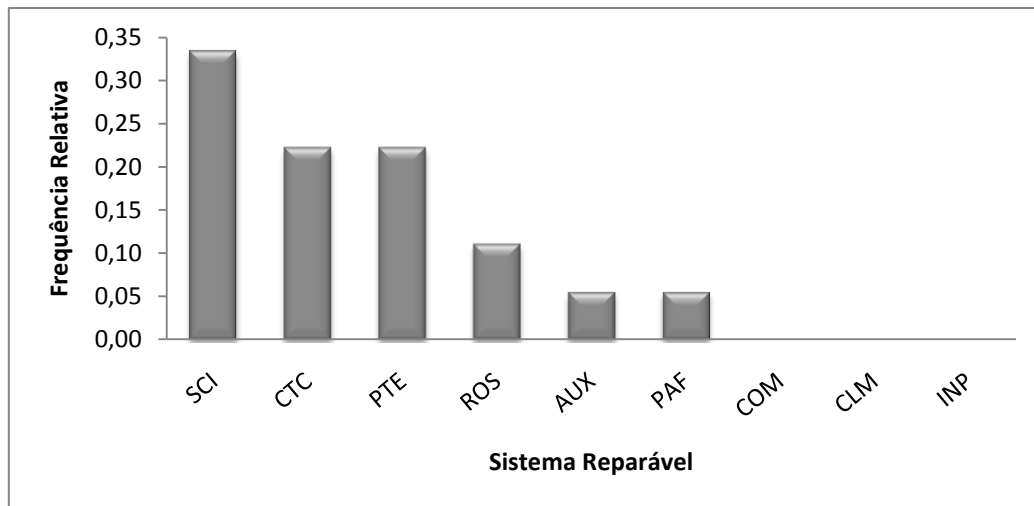


Figura 4.3 - Causas de paragem em função do Sistema Reparável (UQE3520)

Como se pode ver na figura acima, no caso desta automotora o sistema reparável que maior contribui para a sua imobilização em linha, foi o que relaciona com a Segurança em Circulação, com 33% dos incidentes totais. No entanto, também se pode concluir que os sistemas reparáveis Caixa Tracção e Choque e Potência Eléctrica não ficaram isentos de responsabilidade, ocupando as duas posições que se seguem.

4.3.2. Automotora UQE – 3521

Na tabela 4.3 que se segue, apresenta-se por ordem cronológica os quilómetros que a automotora apresentava no momento de cada um dos incidentes. Assim, na tabela referida, estão representados os quilómetros acumulados aquando da falha, bem como o seu sistema reparável e subsistema respectivo.

Tabela 4.3 – Quilómetros acumulados por falha ocorrida na UQE3521

Ordem	Data da Falha	Histórico Falhas [km]	Sistema Reparável	Subsistema
1	21-06-2000	52180	PTE	CVE14
2	09-06-2000	52180	COM	Agate Control
3	07-06-2000	52180	SCI	ATC3521M
4	07-06-2000	52180	SCI	ATC3521M
5	29-07-2000	53650	PTE	DJP07
6	26-07-2000	53650	SCI	ATC3521M
7	20-05-2001	167795	AUX	CIB3521M
8	28-07-2001	173196	SCI	ATC3521M
9	03-09-2001	187687	PTE	CVE14
10	04-01-2002	215767	SCI	ATC3521M
11	06-05-2002	252424	PTE	TRP10
12	17-07-2002	273594	PAF	GCP12
13	22-10-2002	294891	PAF	FRP3521M
14	03-12-2002	312736	CTC	CAI05
15	28-05-2004	465442	PTE	PAN08
16	26-07-2004	483783	SCI	ATC3521M
17	27-07-2004	483783	SCI	ATC3521M
18	23-11-2004	508852	PAF	GCP12
19	16-08-2005	597668	SCI	ATC3521M
20	16-08-2005	597668	SCI	ATC3521M
21	17-08-2005	597668	SCI	ATC3521M
22	17-08-2005	597668	SCI	ATC3521M
23	05-01-2006	650407	PTE	DJP07
24	24-03-2006	669790	PTE	PAN08
25	01-04-2007	1043167	SCI	ATC3521M
26	15-09-2008	1222402	SCI	ATC3521M

Na figura 4.4, representam-se graficamente os valores apresentados na tabela 4.3, sendo que no eixo das abcissas está enumerado o histórico das falhas, e por sua vez, no eixo das ordenadas a ordem numérica de cada uma das respectivas falhas. Decidiu-se representar este gráfico, porque de uma forma grosseira podem-se retirar as primeiras conclusões sobre qual o comportamento deste histórico, que compõe a automotora 3521. Assim, grosseiramente, se for possível ajustar uma recta ao conjunto de pontos enumerados, a tendência será a de se estar perante um Processo de Poisson Homogéneo, PPH.

Levando apenas em linha de consideração o gráfico apresentado na figura 4.4, poder-se-á estimar que a taxa de falhas seguirá muito provavelmente uma taxa de falhas decrescente. Porque como se pode visualizar, não se consegue ajustar uma recta ao conjunto de pontos que constituem o histórico. De seguida, poder-se-á comprovar por intermédio dos cálculos realizados.

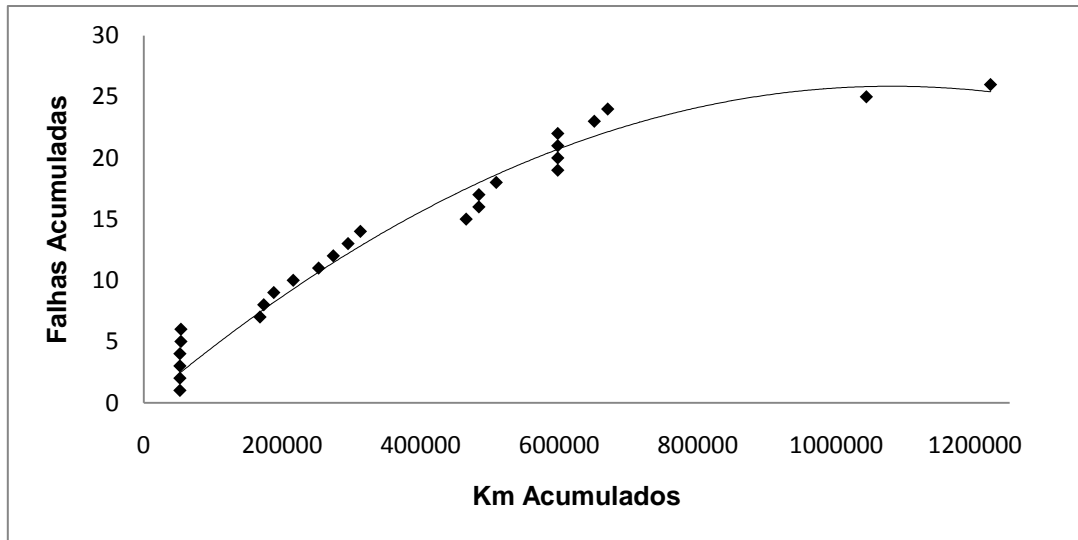


Figura 4.4 – Incidentes UQE3521 em função da quilometragem acumulada

De forma a comprovar as previsões que se fizeram atrás, ir-se-á apresentar os dados realizados para esta automotora. A aplicação da fórmula será utilizada para as vinte e seis falhas e com um período de observação do teste de 1.300.000 quilómetros.

$$z_0 = \sqrt{12n_f} \left[\frac{\sum_{i=1}^{n_f} \tau_i}{n_f T} - 0,5 \right] = (\sqrt{12 \cdot 26}) \left[\frac{10112408}{26 \cdot 1300000} - 0,5 \right] = -3,547$$

Se for considerado um nível de significância de $\alpha = 0,10$, usualmente mais utilizado, tem-se que: $Z_{\alpha/2} = Z_{0,05} = 1,645$, valor que foi retirado da tabela que poderá ser encontrada no anexo 5.

Uma vez que, $|Z_0| > Z_{\alpha/2}$, rejeita-se a hipótese nula, H_0 , permitindo desta forma garantir a veracidade da análise gráfica anteriormente apresentada. Deste modo, já se sabe que se está perante um Processo de Poisson Não Homogéneo (PPNH), em que o sistema apresenta uma taxa de falhas decrescente.

Neste género de sistemas, taxa de falhas decrescente, existe uma tendência para o aumento dos intervalos de tempo entre os incidentes. Tal como o exemplo anterior, esta automotora tem aumentado a sua fiabilidade, o que na prática se poderá concluir que as manutenções a que tem sido sujeita têm estado a contribuir para a sua fiabilidade total do sistema.

Utilizando o Modelo de Crow, parte-se para o cálculo da estimativa do MTBF para as falhas mais recentes, utilizando a expressão 2.4, obtendo-se os coeficientes β e $\hat{\lambda}$ de acordo com as expressões 2.5 e 2.6.

$$\hat{\beta} = 0,6216$$

$$\hat{\lambda} = 0,0041$$

Assim, a estimativa da taxa de falhas será:

$$\rho = \hat{\lambda}\beta\tau^{(\beta-1)} = 1,24 \times 10^{-5}$$

Logo, o valor estimado para o MTBF referente à automotora UQE-3520 será dado através da expressão 2.7, e tem o valor de:

$$\theta = 80432 \text{ km}$$

Este modelo permite ainda definir também intervalos de confiança para a estimativa calculada do MTBF. De acordo com as expressões 2.8 e 2.9, para os quilómetros percorridos neste sistema em estudo, considerando o número de falhas ocorridas, para um nível de significância de 10% ($\alpha = 10\%$), ter-se-á:

$$\text{Limite inferior: } \theta_i = \theta\pi_1 = 80432 \cdot 0,631 = 50753 \text{ km}$$

$$\text{Limite superior: } \theta_s = \theta\pi_2 = 80432 \cdot 1,701 = 136815 \text{ km}$$

Depois de se observarem estes dados, pode-se concluir que o intervalo de confiança definido após a estimação do MTBF, e uma vez que se está perante uma taxa de falhas decrescente, significa que ao longo do período do estudo os intervalos de tempo entre falhas apresentam tendência para aumentar. Este factor, poderá ser entendido como um óptimo factor para a optimização do PMP. Mantendo-se as condições de funcionamento do sistema, as imobilizações para efeitos de manutenção ao equipamento poderá ser aumentado, contribuindo para maior tempo de disponibilidade em serviço e menor transtorno aos seus utilizadores por imobilizações indesejáveis.

Já com o objectivo de se introduzir e perspectivar a segunda parte deste estudo, apresentar-se a figura 4.5, onde se pode apontar qual o sistema reparável que mais contribui para as paragens em serviço que ocorreram nesta automotora.

Tabela 4.4 – Número de falhas ocorridas por SR – UQE3521

Sistema Reparável	Frequência Absoluta	Frequência Relativa	Frequência Relativa Acumulada
SCI	13	0,50	0,50
PTE	7	0,27	0,77
PAF	3	0,12	0,88
CTC	1	0,04	0,92
AUX	1	0,04	0,96
COM	1	0,04	1,00
ROS	0	0,00	1,00
CLM	0	0,00	1,00
INP	0	0,00	1,00

E o gráfico correspondente:

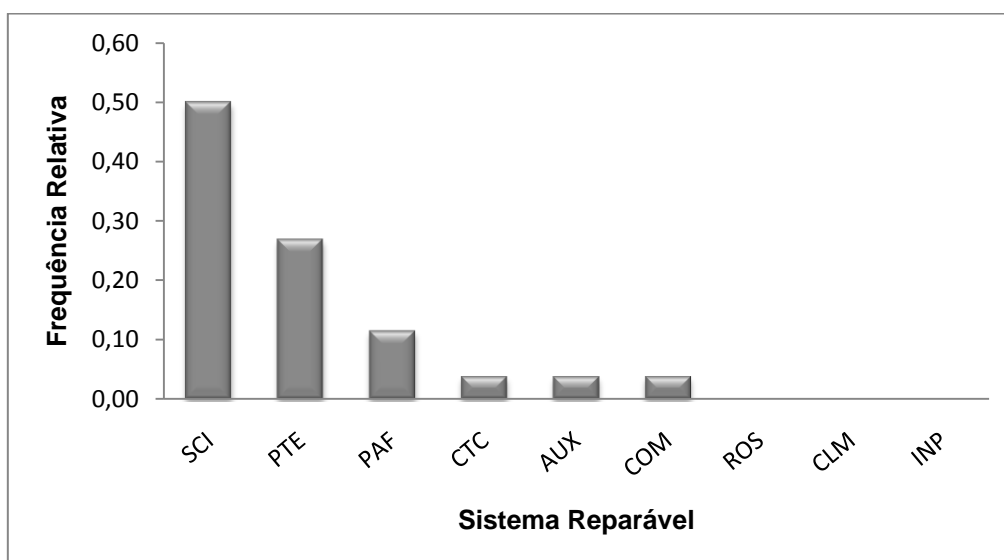


Figura 4.5 - Causas de paragem em função do Sistema Reparável (UQE3521)

Esta automotora é um daqueles casos em que não existe margem para dúvida, relativamente a esta questão de causas de paragem em função do SR estudado. Como se pode observar, o SR responsável por metade dos incidentes é o SCI, sendo que o que aparece em segundo lugar é a potência eléctrica. Este sistema reparável, como se poderá ver mais a frente neste estudo, irá revelar-se bastante interessante.

4.3.3. Automotora UQE – 3523

Na tabela 4.5 que se segue, apresenta-se por ordem cronológica os quilómetros que a automotora apresentava no momento de cada um dos incidentes, bem como o seu sistema reparável e subsistema respectivo.

Tabela 4.5 - Quilómetros acumulados por falha ocorrida na UQE3523

Ordem	Data da Falha	Histórico Falhas [km]	Sistema Reparável	Subsistema
1	13-09-2000	111953	PAF	FRD3523M
2	06-02-2001	160462	PAF	FRP3523M
3	05-09-2001	221467	PTE	DJP07
4	04-08-2003	425186	PAF	FRP3523M
5	08-06-2005	627157	ROS	MTA04
6	03-04-2006	743728	COM	equip. comutação
7	23-11-2006	827304	PTE	DJP07
8	17-08-2007	918050	PAF	GCP12
9	26-11-2007	956977	SCI	ATC3523M

Na figura 4.6, representam-se graficamente os valores apresentados na tabela 4.5, sendo que no eixo das abcissas está enumerado o histórico das falhas, e por sua vez, no eixo das ordenadas a ordem numérica de cada uma das respectivas falhas. Tal como nos casos já enunciados, optou-se pela representação do gráfico, porque de uma forma grosseira podem-se retirar as primeiras conclusões sobre qual o comportamento deste histórico, que compõe a automotora 3523. Se for possível ajustar uma recta ao conjunto de pontos enumerados, a tendência será a de se estar perante um Processo de Poisson Homogéneo, PPH.

Levando apenas em linha de consideração o gráfico apresentado na figura 4.6, poder-se-á estimar que a taxa de falhas seguirá muito provavelmente uma taxa de falhas constante. Visualizando-se a figura seguinte, pode ver-se que se consegue ajustar uma recta ao conjunto de pontos que constituem o histórico, embora com alguma imprecisão. De seguida, poder-se-á comprovar por intermédio dos cálculos realizados esta previsão gráfica.

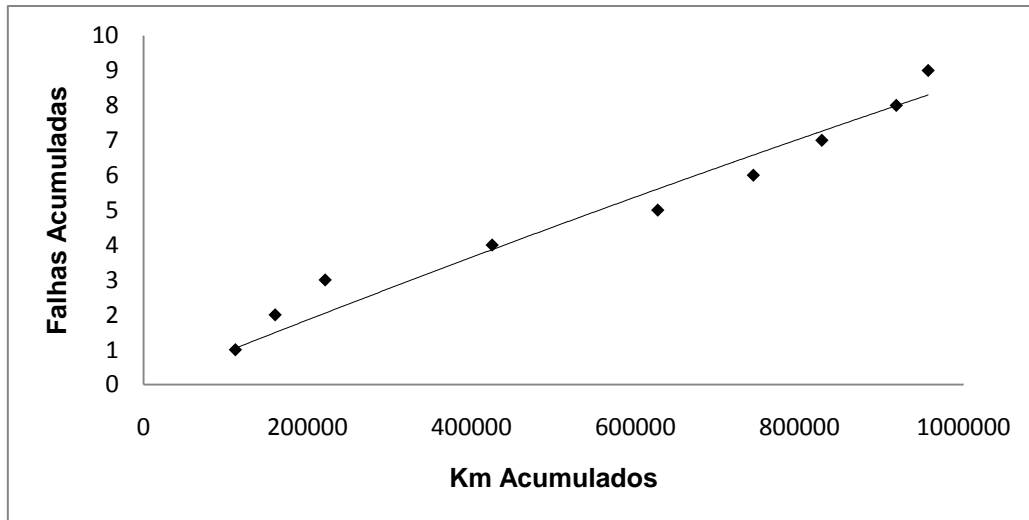


Figura 4.6 - Incidentes UQE3523 em função da quilometragem acumulada

De forma a comprovar as previsões que se fizeram atrás, ir-se-á apresentar os dados realizados para esta automotora. A expressão utilizada, pode ser encontrada no capítulo 2 deste estudo, com o número 2.1. Assim, a aplicação da referida fórmula será utilizada para as nove falhas e com um período de observação do teste de 1.300.000 quilómetros.

$$z_0 = \sqrt{12n_f} \left[\frac{\sum_{i=1}^{n_f} \tau_i}{n_f T} - 0,5 \right] = (\sqrt{12 \cdot 9}) \left[\frac{4992284}{9 \cdot 1300000} - 0,5 \right] = -0,762$$

Se for considerado um nível de significância de $\alpha = 0,10$, usualmente mais utilizado, tem-se que: $Z_{\alpha/2} = Z_{0,05} = 1,645$, valor que foi retirado da tabela que poderá ser encontrada no anexo 5.

Uma vez que, $|Z_0| < Z_{\alpha/2}$, aceita-se a hipótese nula, H_0 , permitindo desta forma garantir a veracidade da análise gráfica anteriormente apresentada. Deste modo, já se sabe que se está perante um Processo de Poisson Homogéneo (PPH), em que o sistema apresenta uma taxa de falhas constante.

Depois de se confirmar que se está perante um PPH, com taxa de falhas constante mediante a utilização do teste de Laplace, poder-se-á avançar directamente para o cálculo da sua fiabilidade. Pois, neste tipo de casos, não será necessário a utilização do modelo de Crow como foi visto anteriormente.

Assim, através da aplicação das expressões 2.13 e 2.14, chegou-se aos resultados que de seguida se apresentam.

$$MTBF = \frac{T}{n_f} = \frac{1300000}{9} = 144444 \text{ Km}$$

$$\text{Mínimo garantido de MTBF} = \theta_i = \frac{2 \times T}{\chi_{\alpha,2(n_f+1)}^2} = 91511 \text{ Km}$$

Assim, observando os resultados pode-se desde já adiantar que a automotora em questão apresentou um tempo médio entre falhas de cerca 144 mil quilómetros, e que o seu MTBF mínimo foi de cerca 91500 quilómetros, para um nível de significância de 10%.

Em termos práticos, e de acordo com Leitão (1989), o facto de o sistema ter um comportamento de taxa de falhas constante, não quer dizer que os componentes que o compõem apresentem uma função de risco constante. Um sistema com taxa de falhas constante não beneficia com a substituição preventiva de componentes. Em acordo com o autor referido, vem Dias (2002) referir que esta é uma questão primordial na manutenção, pois apenas os componentes com funções de risco crescentes deverão ser substituídos preventivamente.

Já com o objectivo de se introduzir e perspectivar a segunda parte deste estudo, apresentar-se a figura 4.7, onde se pode apontar qual o sistema reparável que mais contribui para as paragens em serviço que ocorreram nesta automotora.

Tabela 4.6 - Número de falhas ocorridas por SR – UQE3523

Sistema Reparável	Frequência Absoluta	Frequência Relativa	Frequência Relativa Acumulada
PAF	4	0,44	0,44
PTE	2	0,22	0,67
SCI	1	0,11	0,78
COM	1	0,11	0,89
ROS	1	0,11	1,00
CTC	0	0,00	1,00
AUX	0	0,00	1,00
CLM	0	0,00	1,00
INP	0	0,00	1,00

E o gráfico correspondente:

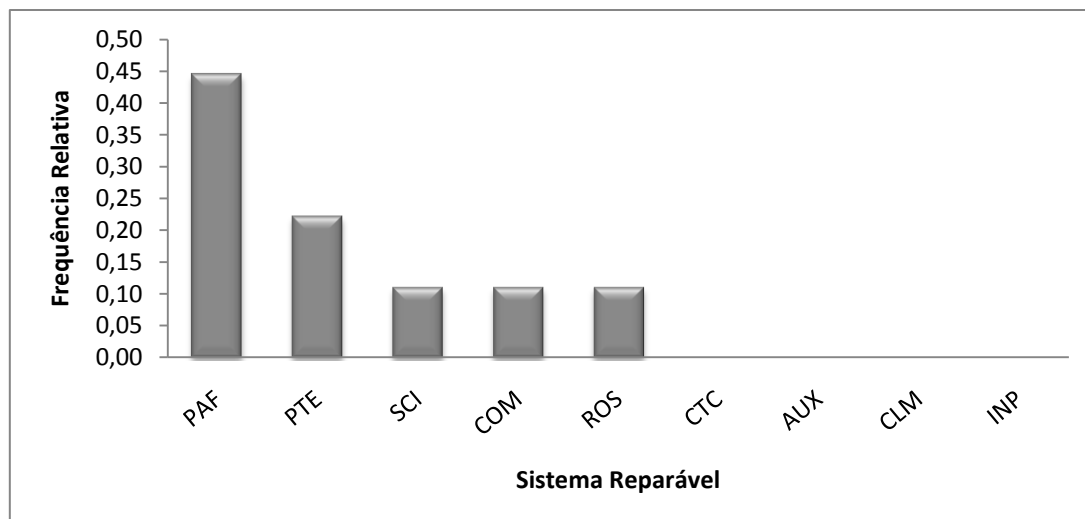


Figura 4.7 - Causas de paragem em função do Sistema Reparável (UQE3523)

Como se pode confirmar na figura acima ilustrada, os dois SR responsáveis por cerca de 67% das falhas são o PAF e o PTE. Nesta situação em especial, há que atentar com maior pormenor no que concerne com a produção de ar e freio, uma vez que cerca de metade dos incidentes se ficaram a dever a este último.

4.3.4. Automotora UQE – 3527

Na tabela 4.7 que se segue, apresenta-se por ordem cronológica os quilómetros que a automotora apresentava no momento de cada um dos incidentes. Assim, na tabela referida, estão representados os quilómetros acumulados aquando da falha, bem como o seu sistema reparável e subsistema respectivo.

Tabela 4.7 - Quilómetros acumulados por falha ocorrida na UQE3527

Ordem	Data da Falha	Histórico Falhas [km]	Sistema Reparável	Subsistema
1	17-07-2000	67520	PTE	CVE14
2	25-08-2000	93509	SCI	ATC3527M
3	26-02-2002	270592	PAF	GCP12
4	17-05-2002	292925	PTE	TRP10
5	14-03-2003	384357	PTE	DJP07
6	22-04-2003	391608	SCI	ATC3527M
7	13-07-2004	523230	PAF	FRD3527M
8	18-03-2005	599028	PAF	FRD3527M
9	09-04-2005	610730	PTE	CVE14
10	19-07-2005	619954	PAF	GCP12
11	04-08-2005	625179	PAF	GCP12
12	15-09-2005	635720	ROS	BOG62
13	17-05-2007	852226	PAF	FRD3527M
14	21-12-2007	939769	PAF	FRP3527M
15	27-05-2008	987853	PAF	FRD3527M

Na figura 4.8, representam-se graficamente os valores apresentados na tabela 4.7, sendo que no eixo das abcissas está enumerado o histórico das falhas, e por sua vez, no eixo das ordenadas a ordem numérica de cada uma das respectivas falhas. Se for possível ajustar uma recta ao conjunto de pontos enumerados, a tendência será a de se estar perante um Processo de Poisson Homogéneo, PPH.

Levando apenas em linha de consideração o gráfico apresentado na figura 4.8, poder-se-á estimar que a taxa de falhas seguirá muito provavelmente uma taxa de falhas constante. Visualizando-se então a figura seguinte, pode-se ver que se consegue ajustar uma recta ao conjunto de pontos que constituem o histórico. De seguida, poder-se-á comprovar por intermédio dos cálculos realizados esta previsão gráfica.

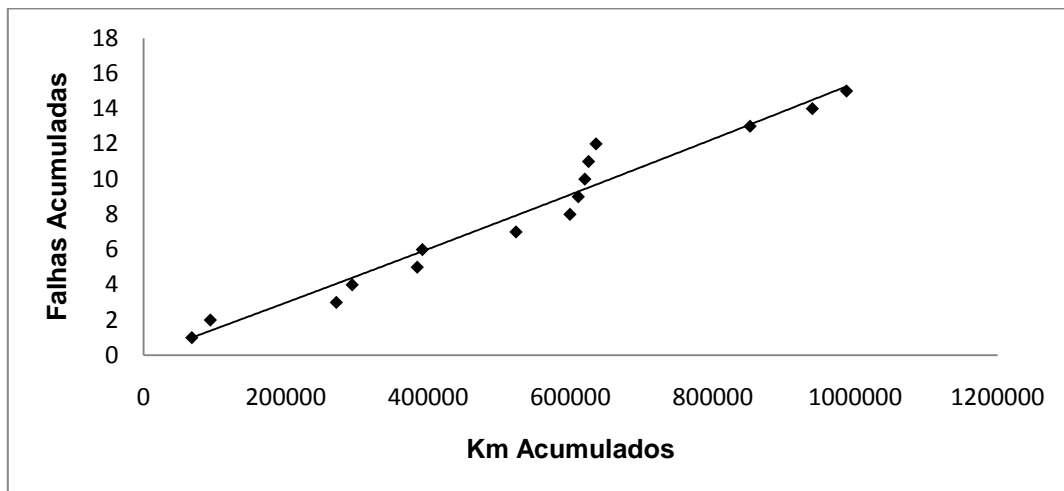


Figura 4.8 - Incidentes UQE3527 em função da quilometragem acumulada

De forma a comprovar as previsões que se fizeram atrás, ir-se-á apresentar os dados realizados para esta automotora. A expressão utilizada, pode ser encontrada no capítulo 2 deste estudo, com o número 2.1. Assim, a aplicação da referida fórmula será utilizada para as quinze falhas e com um período de observação do teste de 1.300.000 quilómetros.

$$z_0 = -1,277$$

Se for considerado um nível de significância de $\alpha = 0,10$, usualmente mais utilizado, tem-se que: $Z_{\alpha/2} = Z_{0,05} = 1,645$, valor que foi retirado da tabela que poderá ser encontrada no anexo 5.

Uma vez que, $|Z_0| < Z_{\alpha/2}$, aceita-se a hipótese nula, H_0 , permitindo desta forma garantir a veracidade da análise gráfica anteriormente apresentada. Deste modo, já se sabe que se está perante um Processo de Poisson Homogéneo (PPH), em que o sistema apresenta uma taxa de falhas constante.

Depois de se confirmar que se está perante um PPH, com taxa de falhas constante mediante a utilização do teste de Laplace, poder-se-á avançar directamente para o cálculo da sua fiabilidade. Pois, neste tipo de casos, não será necessário a utilização do modelo de Crow como foi visto anteriormente.

$$MTBF = 86667 \text{ Km}$$

$$\text{Mínimo garantido de MTBF} = \theta_i = 61055 \text{ Km}$$

Assim, observando os resultados pode-se desde já adiantar que a automotora em questão apresentou um tempo médio entre falhas de cerca 86 mil quilómetros, sendo que o seu MTBF mínimo foi de cerca 61 mil quilómetros, para um nível de significância de 10%.

Já com o objectivo de se introduzir e perspectivar a segunda parte deste estudo, apresentar-se a figura 4.9, onde se pode apontar qual o sistema reparável que mais contribui para as paragens em serviço que ocorreram nesta automotora.

Tabela 4.8 - Número de falhas ocorridas por SR – UQE3527

Sistema Reparável	Frequência Absoluta	Frequência Relativa	Frequência Relativa Acumulada
PAF	8	0,53	0,53
PTE	4	0,27	0,80
SCI	2	0,13	0,93
ROS	1	0,07	1,00
COM	0	0,00	1,00
AUX	0	0,00	1,00
INP	0	0,00	1,00
CTC	0	0,00	1,00
CLM	0	0,00	1,00

E o gráfico correspondente:

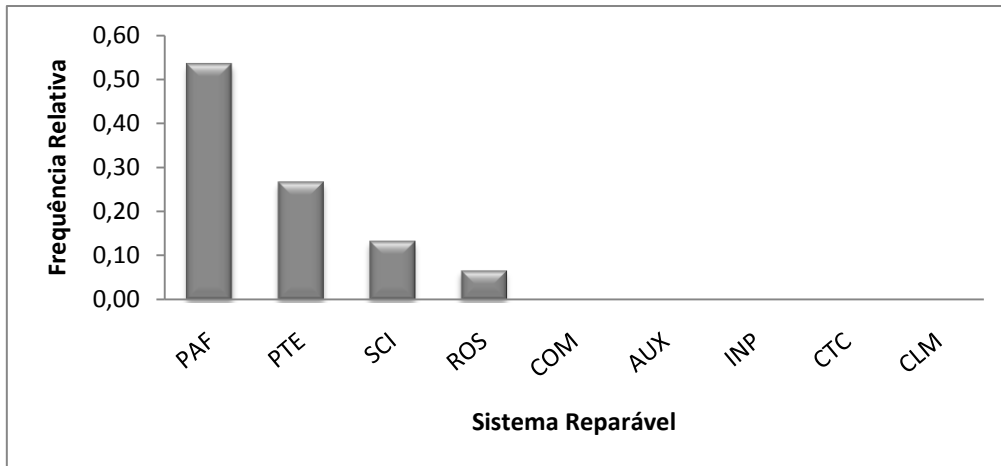


Figura 4.9 - Causas de paragem em função do Sistema Reparável (UQE3527)

De acordo com os resultados que têm vindo a ser apresentados ao longo de toda a linha, mais uma vez está-se perante os sistemas reparáveis mais problemáticos: Produção de Ar e Freio, Potência Eléctrica e Segurança na Circulação.

Deste modo, e uma vez que já estamos em fase avançada da análise para posterior identificação de quais os sistemas reparáveis críticos e que, posteriormente, serão alvo de análise mais profunda, pode-se já em jeito de *pré-conclusão* referir que estes SR referidos anteriormente, PAF, PTE e SCI serão aqueles com valores de criticidade mais elevada.

4.3.5. Automotora UQE – 3529

Na tabela 4.9 que se segue, apresenta-se por ordem cronológica os quilómetros que a automotora apresentava no momento de cada um dos incidentes. Assim, na tabela referida, estão representados os quilómetros acumulados aquando da falha, bem como o seu sistema reparável e subsistema respectivo.

Tabela 4.9 - Quilómetros acumulados por falha ocorrida na UQE3529

Ordem	Data da Falha	Histórico Falhas [km]	Sistema Reparável	Subsistema
1	01-06-2000	72330	CTC	CAI05
2	07-06-2000	72330	PAF	FRP3529M
3	04-05-2001	198280	PAF	FRP3529M
4	21-06-2001	209771	PAF	FRP3529M
5	04-11-2002	365596	PAF	GCP12
6	05-10-2003	473299	PAF	FRP3529M
7	25-01-2004	501980	SCI	OutrosSC01
8	23-02-2004	513218	CLM	CLM3529M
9	21-09-2004	579235	PAF	FRP3529M
10	29-01-2005	616329	PAF	FRP3529M
11	02-05-2005	651284	COM	Cabine Condução
12	20-11-2005	718755	SCI	ATC3529M
13	11-08-2006	779047	COM	Cabo Intercomunicação
14	15-09-2006	792973	SCI	ATC3529M

Na figura 4.10, representam-se graficamente os valores apresentados na tabela 4.9, sendo que no eixo das abcissas está enumerado o histórico das falhas, e por sua vez, no eixo das ordenadas a ordem numérica de cada uma das respectivas falhas. Se for possível ajustar uma recta ao conjunto de pontos enumerados, a tendência será a de se estar perante um Processo de Poisson Homogéneo, PPH.

Levando apenas em linha de consideração o gráfico apresentado na figura 4.10, poder-se-á estimar que a taxa de falhas seguirá muito provavelmente uma taxa de falhas decrescente. Porque como se pode visualizar, não se consegue ajustar uma recta ao conjunto de pontos que constituem o histórico. De seguida, poder-se-á comprovar por intermédio dos cálculos realizados.

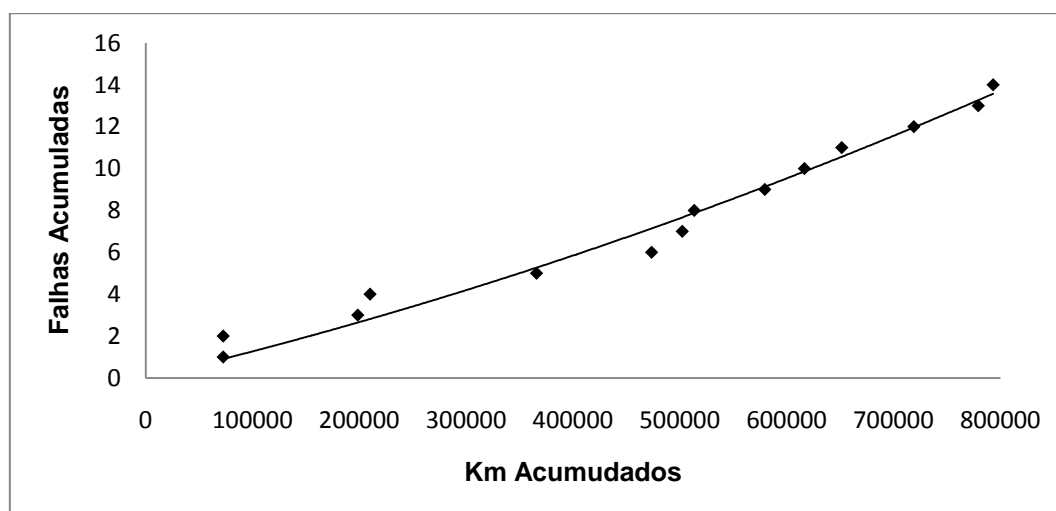


Figura 4.10 - Incidentes UQE3529 em função da quilometragem acumulada

De forma a comprovar as previsões que se fizeram atrás, ir-se-á apresentar os cálculos realizados para esta automotora. Da aplicação fórmula já enunciada, podem retirar-se as seguintes ilações que se apresentam.

$$z_0 = \sqrt{12n_f} \left[\frac{\sum_{i=1}^{n_f} \tau_i}{n_f T} - 0,5 \right] = (\sqrt{12 \cdot 14}) \left[\frac{6544427}{14 \cdot 1300000} - 0,5 \right] = -1,820$$

Se for considerado um nível de significância de $\alpha = 0,10$, usualmente mais utilizado, tem-se que: $Z_{\alpha/2} = Z_{0,05} = 1,645$, valor que foi retirado da tabela que poderá ser encontrada no anexo 5.

Uma vez que, $|Z_0| > Z_{\alpha/2}$, rejeita-se a hipótese nula, H_0 , permitindo desta forma garantir a veracidade da análise gráfica anteriormente apresentada. Deste modo, já se sabe que se está perante um Processo de Poisson Não Homogéneo (PPNH), em que o sistema apresenta uma taxa de falhas decrescente.

Utilizando o Modelo de Crow, parte-se para o cálculo da estimativa do MTBF para as falhas mais recentes, utilizando a expressão 2.4, obtendo-se os coeficientes β e $\hat{\lambda}$ de acordo com as expressões 2.5 e 2.6.

$$\hat{\beta} = 0,8006$$

$$\hat{\lambda} = 0,0002$$

Assim, a estimativa da taxa de falhas será:

$$\rho = 8,62 \times 10^{-6}$$

Logo, o valor estimado para o MTBF referente à automotora UQE-3529 será dado através da expressão 2.7, e tem o valor de:

$$\theta = 115986 \text{ km}$$

Este modelo permite ainda definir também intervalos de confiança para a estimativa calculada do MTBF. De acordo com as expressões 2.8 e 2.9, para os quilómetros percorridos neste sistema em estudo, considerando o número de falhas ocorridas, para um nível de significância de 10% ($\alpha = 10\%$), ter-se-á:

$$\text{Limite inferior: } \theta_i = \theta \pi_1 = 115986 \cdot 0,533 = 61821 \text{ km}$$

$$\text{Limite superior: } \theta_s = \theta\pi_2 = 115986 \cdot 2,153 = 249719 \text{ km}$$

Depois de se observarem estes dados, pode-se concluir que o intervalo de confiança definido após a estimação do MTBF, e uma vez que se está perante uma taxa de falhas decrescente, significa que ao longo do período do estudo, os intervalos de tempo entre falhas apresentam tendência para aumentar. Este factor, poderá ser entendido como um óptimo factor para a optimização do PMP. Pois, mantendo-se as condições de funcionamento do sistema, as imobilizações para efeitos de manutenção ao equipamento poderá ser aumentado, contribuindo neste caso num maior tempo de disponibilidade em serviço e menor transtorno aos seus utilizadores por imobilizações durante a prestação do serviço.

Já com o objectivo de se introduzir e perspectivar a segunda parte deste estudo, apresentar-se a figura 4.11, onde se pode apontar qual o sistema reparável que mais contribui para as paragens em serviço que ocorreram nesta automotora.

Tabela 4.10 - Número de falhas ocorridas por SR – UQE3529

Sistema Reparável	Frequência Absoluta	Frequência Relativa	Frequência Relativa Acumulada
PAF	7	0,50	0,50
SCI	3	0,21	0,71
COM	2	0,14	0,86
CTC	1	0,07	0,93
CLM	1	0,07	1,00
AUX	0	0,00	1,00
PTE	0	0,00	1,00
ROS	0	0,00	1,00
INP	0	0,00	1,00

E o gráfico correspondente:

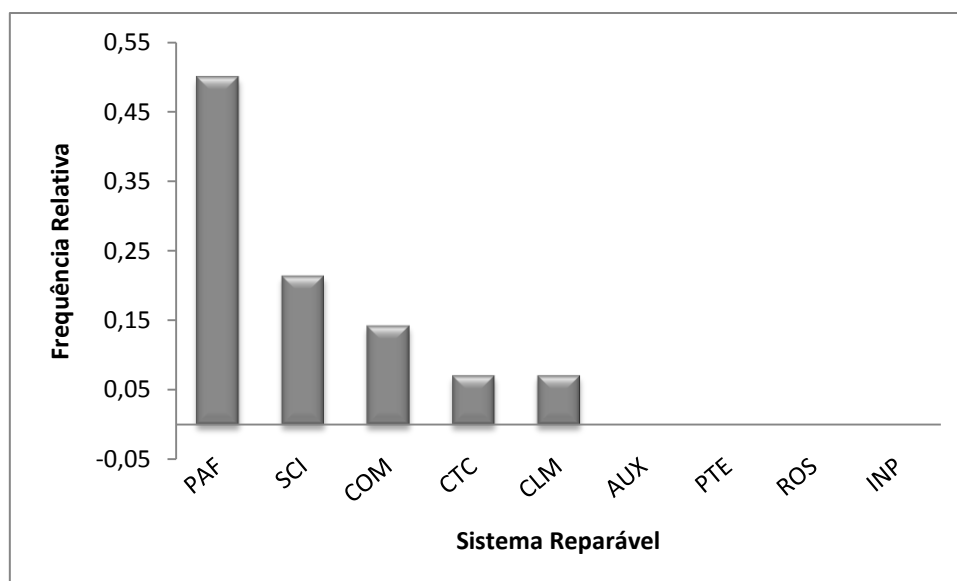


Figura 4.11 - Causas de paragem em função do Sistema Reparável (UQE3529)

No caso desta automotora, cinquenta por cento das ocorrências incidiram no SR de produção de ar e freio. Como se poderá ver mais à frente, este é um sistema reparável que apresentou algumas limitações. Os outros sistemas reparáveis, contribuíram mais ou menos nas mesmas proporções para as limitações expostas no estudo.

4.3.6. Automotora UQE – 3530

Na tabela 4.11 que se segue, apresenta-se por ordem cronológica os quilómetros que a automotora apresentava no momento de cada um dos incidentes. Assim, na tabela referida, estão representados os quilómetros acumulados aquando da falha, bem como o seu sistema reparável e subsistema respectivo.

Tabela 4.11 - Quilómetros acumulados por falha ocorrida na UQE3530

Ordem	Data da Falha	Histórico Falhas [km]	Sistema Reparável	Subsistema
1	06-06-2000	52651	CTC	CAI05
2	14-06-2000	52651	CTC	CAI05
3	20-08-2000	70240	SCI	ATC3530M
4	04-09-2001	206290	PAF	FRP3530M
5	11-01-2005	527653	CTC	CAI05
6	31-01-2007	809295	SCI	OutrosSC01
7	16-05-2007	859564	COM	Relés
8	11-12-2007	931722	PAF	FRP3530M
9	14-03-2008	982607	CTC	CAI05
10	29-06-2008	994396	CTC	CAI05
11	30-10-2008	1043272	PTE	CVE14

Na figura 4.12, representam-se graficamente os valores apresentados na tabela 4.11, sendo que no eixo das abcissas está enumerado o histórico das falhas, e por sua vez, no eixo das ordenadas a ordem numérica de cada uma das respectivas falhas. Decidiu-se representar este gráfico, porque de uma forma grosseira podem-se retirar as primeiras conclusões sobre qual o comportamento deste histórico, que compõe a automotora 3530. Se for possível ajustar uma recta ao conjunto de pontos enumerados, a tendência será a de se estar perante um Processo de Poisson Homogéneo, PPH.

Levando apenas em linha de consideração o gráfico apresentado na figura 4.12 poder-se-á estimar que a taxa de falhas seguirá muito provavelmente uma taxa de falhas constante. Visualizando-se então a figura seguinte, pode-se ver que se consegue ajustar uma recta ao conjunto de pontos que constituem o histórico. De seguida, poder-se-á comprovar por intermédio dos cálculos realizados esta previsão gráfica.

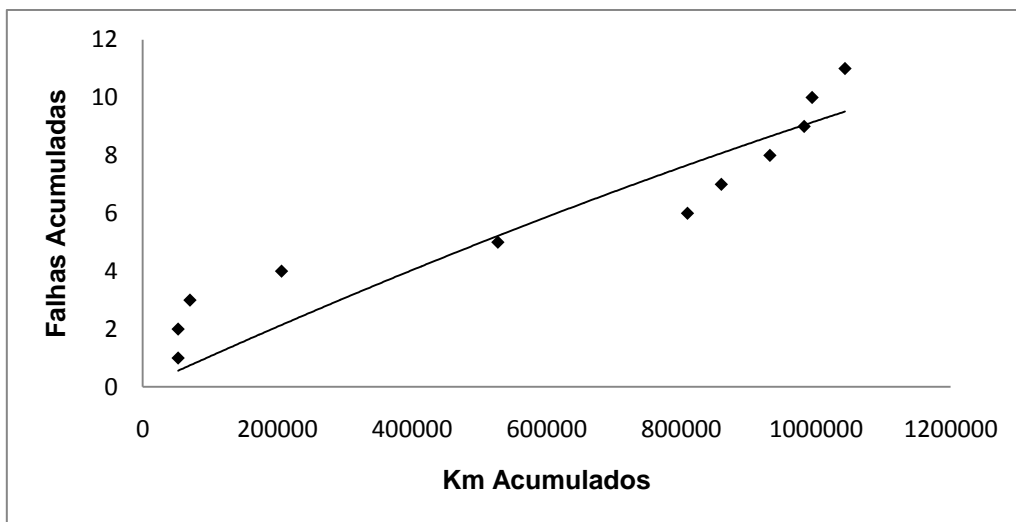


Figura 4.12 - Incidentes UQE3530 em função da quilometragem acumulada

De forma a comprovar as previsões que se fizeram atrás, ir-se-á apresentar os resultados obtidos para esta automotora. Neste caso, existiram onze falhas num período de observação do teste de 1.300.000 quilómetros.

$$z_0 = -0,498$$

Se for considerado um nível de significância de $\alpha = 0,10$, usualmente mais utilizado, tem-se que: $Z_{\alpha/2} = Z_{0,05} = 1,645$, valor que foi retirado da tabela que poderá ser encontrada no anexo 5.

Uma vez que, $|Z_0| < Z_{\alpha/2}$, aceita-se a hipótese nula, H_0 , permitindo desta forma garantir a veracidade da análise gráfica anteriormente apresentada. Deste modo, já se sabe que se está perante um Processo de Poisson Homogéneo (PPH), em que o sistema apresenta uma taxa de falhas constante.

Depois de se confirmar que se está perante um PPH, com taxa de falhas constante mediante a utilização do teste de Laplace, poder-se-á avançar directamente para o cálculo da sua fiabilidade. Pois, neste tipo de casos, não será necessário a utilização do modelo de Crow como foi visto anteriormente.

Assim, através da aplicação das expressões 2.13 e 2.14, chegou-se aos resultados que de seguida se apresentam.

$$MTBF = 118182 \text{ Km}$$

$$\text{Mínimo garantido de MTBF} = \theta_i = 78322 \text{ Km}$$

Assim, observando os resultados pode-se desde já adiantar que a automotora em questão apresentou um tempo médio entre falhas de cerca 118 mil quilómetros, sendo que o seu MTBF mínimo foi de cerca 78 mil quilómetros, para um nível de significância de 10%.

Já com o objectivo de se introduzir e perspectivar a segunda parte deste estudo, apresentar-se a figura 4.13, onde se pode apontar qual o sistema reparável que mais contribui para as paragens em serviço que ocorreram nesta automotora.

Tabela 4.12 - Número de falhas ocorridas por SR – UQE3530

Sistema Reparável	Frequência Absoluta	Frequência Relativa	Frequência Relativa Acumulada
CTC	5	0,45	0,45
PAF	2	0,18	0,64
SCI	2	0,18	0,82
COM	1	0,09	0,91
PTE	1	0,09	1,00
CLM	0	0,00	1,00
AUX	0	0,00	1,00
ROS	0	0,00	1,00
INP	0	0,00	1,00

E o gráfico correspondente:

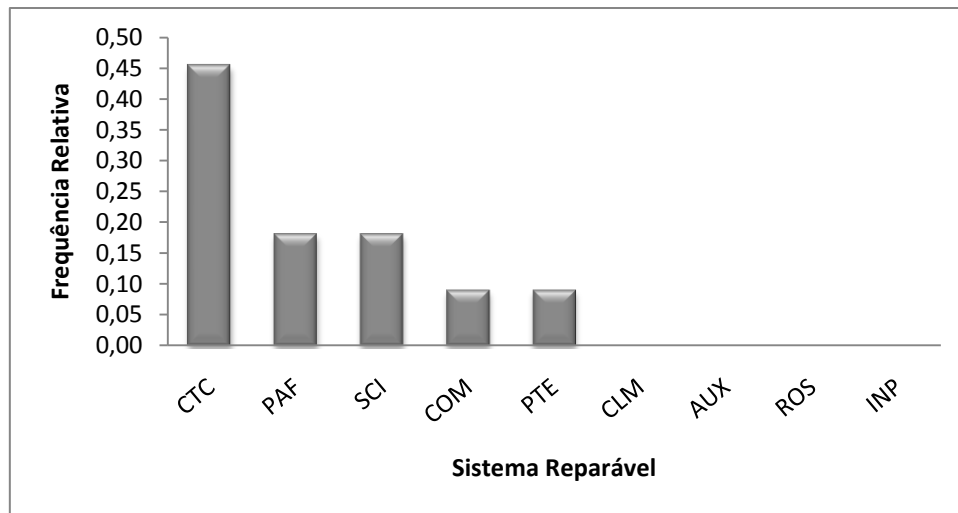


Figura 4.13 - Causas de paragem em função do Sistema Reparável (UQE3530)

Mesmo sendo esta a última automotora seleccionada para se expor a sua análise, isso não veio inviabilizar a tendência que tem vindo a ser criada ao longo deste estudo. Esta afirmação é feita de acordo com o que a figura 4.13 ilustra. Mais uma vez, PAF e SCI aparecem em lugar de destaque, com a sua função conjugada em cerca de 40%.

No entanto, à imagem do que acontecem em apenas uma vez nesta análise, caso da automotora 3519, o SR CTC aparece com 45% de responsabilidade das imobilizações em linha com mais de quatro minutos.

Apesar de ser o que os dados confirmam, este resultado não poderá ser extrapolado para toda a frota. Pois, num universo de 11 falhas, bastava um dia em que não existisse material circulante em parque para substituição para se assistir ao incremento de incidentes neste sistema reparável.

Como se pode ver, este capítulo torna-se de certa forma um pouco repetitivo. Como tal, decidiu-se apresentar três casos para cada uma das situações estudadas, isto é, 3 exemplos onde o sistema seguia um comportamento característico de uma taxa de falhas constante, e 3 exemplos onde seguiu uma taxa de falhas decrescente. Os casos que não estão presentes neste capítulo, poderão ser consultados no Anexo 4.

No entanto, apresenta-se de seguida a tabela 4.13 onde se pretende dar uma perspectiva global dos resultados conseguidos, neste ponto do estudo.

Tabela 4.13 – Tabela de resultados aplicação Teste de Laplace

Automotora	N.º Falhas	Z0	Taxa Falhas Constante	Taxa Falhas Decrescente	MTBF [Km]	Mínimo Garantido MTBF [Km]
3519	16	-2,061		X	122940	68355
3520	18	-2,838		X	146114	84016
3521	26	-3,547		X	80432	50753
3522	17	-2,030		X	111020	62726
3523	9	-0,762	X		144444	91511
3524	12	-1,108	X		108333	73109
3525	8	-1,605	X		162500	100041
3526	12	0,071	X		108333	73109
3527	15	-1,277	X		86667	61055
3528	24	-3,035		X	97806	60444
3529	14	-1,820		X	115986	61821
3530	11	-0,498	X		118182	78322

Como se pode ver na tabela anterior, uma das conclusões que se podem retirar passa pela descoberta de um padrão nos resultados. O que se pretende dizer com esta afirmação é que a frota das UQE-S3500 revela um comportamento característico de material circulante motor. Uma vez que se está perante veículos produzidos em série, é notório o aprumar de certos aspectos de construção. A base desta afirmação recai nos resultados obtidos, pois se se verificarem nota-se que as primeiras automotoras a serem cedidas à CP Frota (3519 a 3522) ainda são aquelas que estão numa fase de declínio das suas falhas iniciais, pois naturalmente deveriam vir com certos aspectos menos positivos que foram com certeza corrigidos na construção das que se lhes seguiram.

4.4. Sistemas Reparáveis Críticos

Uma vez que já se apresentaram os resultados apurados para as automotoras, pensa-se que se será interessante proceder nesta fase à exposição dos resultados apurados, nomeadamente, no que se concerne à utilização totalitária dos dados apurados, isto é, na globalidade por intermédio de concatenação das bases de dados unitárias, utilizadas anteriormente.

Através deste processo, não só se poderão retirar algumas conclusões que fazem parte deste capítulo, mas o mais importante será “preparar caminho” para o próximo. Ou seja, o que se pretende é enunciar, mediante a utilização dos dados totais, quais foram os sistemas reparáveis críticos, ou seja, quais foram os SR que mais contribuíram no acumular de incidentes e imobilizações em trânsito. Uma vez identificados, poder-se-á então avançar para a próxima fase deste estudo, onde o objectivo final será criticar e

apresentar sugestões de melhoria ao plano de manutenção implementado para as automotoras UQE-S3500.

De seguida, apresenta-se a tabela 4.14 onde o que se pretende demonstrar é o que foi dito em cima, ou seja, identificar de uma forma simples, rápida e directa quais os SR que mais provocaram a ocorrência de incidentes de forma a determinar os subsistemas mais responsáveis. O outro objectivo será o de identificar qual o sistema reparável onde se irá aplicar o Modelo de Riscos Proporcionais, que se apresentará no capítulo 5.

Tabela 4.14 - Número de falhas ocorridas (Dados Totais)

Sistema Reparável	N.º Incidentes (Frequência Absoluta)	% Falha SR (Frequência Relativa)	Frequência Relativa Acumulada
SCI	50	0,27	27,47%
PAF	45	0,25	52,20%
PTE	30	0,16	68,68%
CTC	19	0,10	79,12%
AUX	15	0,08	87,36%
COM	14	0,08	95,05%
ROS	6	0,03	98,35%
CLM	2	0,01	99,45%
INP	1	0,01	100,00%

Observando a tabela em cima, perceber-se-á o porquê de se ter vindo a referir ao longo deste capítulo a importância que os SR segurança na circulação, produção de ar e freio e potência eléctrica teriam no desenrolar da apresentação do estudo. Deste modo, olhando para a tabela anterior pode-se logo confirmar a sua importância, uma vez que a cerca de 70% dos incidentes tiveram a sua origem nos SR referidos.

Como já foi referido anteriormente, pretende-se nesta fase do estudo saber qual vai ser o próximo passo a dar no seguimento deste estudo, mais precisamente qual será o sistema reparável que irá sofrer um tratamento mais preciso. De forma a se indicar essa informação, optou-se pela construção de um diagrama de Pareto.

Esta ferramenta é um gráfico de barras onde se ordenam as frequências dos incidentes, de maior para menor, permitindo identificar a prioridade dos problemas. Mostrará ainda a curva de percentagens acumuladas. Este gráfico é utilizado para mostrar por ordem de relevância, a contribuição de cada SR para o efeito total, para classificar oportunidades de melhoria. Ilustra o Princípio de Pareto, que declara que muitas vezes apenas alguns *itens* são responsáveis pela maior parte dos efeitos adversos.

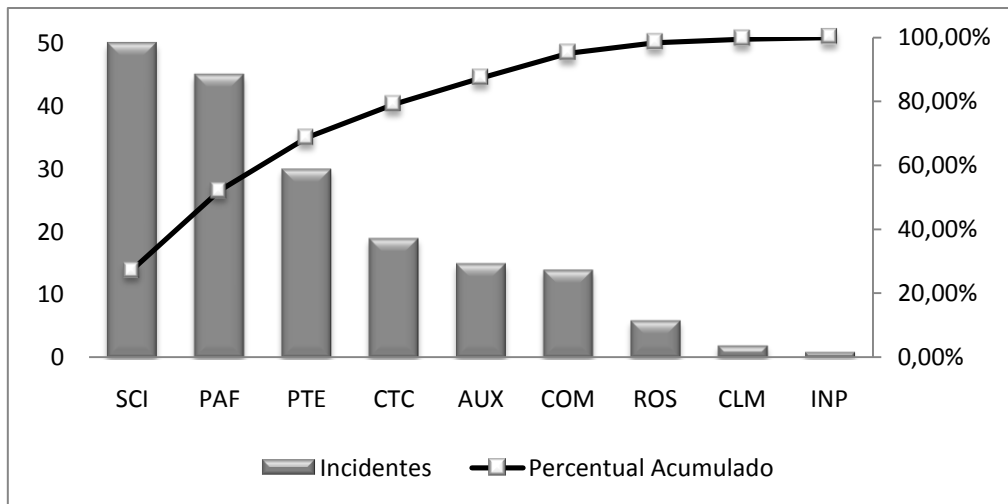


Figura 4.14 – Diagrama de Pareto dos Sistemas Reparáveis

Na figura 4.14 consegue-se visualizar de uma forma bastante eficaz que o sistema reparável segurança na circulação será o SR a estudar, mediante a utilização do modelo de riscos proporcionais.

CAPÍTULO 5

MODELO DE RISCOS PROPORCIONAIS

5.1.Introdução

Como já foi referido anteriormente neste documento, a base de cálculo assenta principalmente em conceitos de estatística. Como se pode verificar no capítulo anterior, a informação da base de dados sofreu um tratamento estatístico que culminou na construção do diagrama de Pareto, figura 4.14.

Deste modo, o presente capítulo pretende dar continuidade a este estudo. No entanto no seguimento da mesma linha de raciocínio, pretende-se comprovar por intermédio de uma nova ferramenta estatística informática os dados consultáveis na figura 4.14. Esta nova ferramenta é denominada por Modelo de Riscos Proporcionalis (*Proportional Hazards Modelling*).

A grande mais valia que se espera obter da aplicação do MRP passa pela identificação dos SR com maior risco de falha, ou seja, a partir dessa identificação conseguir propor uma periodicidade de intervenção preventiva mais adequada para o SR ou subsistemas mais críticos.

5.2.Modelo de Riscos Proporcionalis

Atentando no anexo 1, pode-se contemplar a divisão que foi decidida do sistema Automotora UQE-S3500 nos Sistemas Reparáveis que a constituem. Depois de se ter construído a base de dados e exportado a mesma para o *software SPSS*, nos seus constituintes como sendo a tabela com os tempos de vida no momento de cada falha, o estado da falha (se é uma falha censurada ou não censurada) e toda a matriz que faz a correspondência para o SR responsável pela falha, passa-se já para a demonstração de resultados que o *SPSS* devolveu.

No entanto, antes de se avançar de imediato para a demonstração de resultados, apresenta-se primeiramente a tabela 5.1, onde se ilustra o número de falhas que cada SR comportou. De notar que nesta fase do trabalho perdeu-se o interesse em se trabalhar

com a divisão de falhas por automotora, optando-se por se trabalhar numa perspectiva global. Considerando a tabela seguinte, as 57 falhas do SR de Produção de Ar e Freio correspondem a totalidade de falhas no período em estudo e para o universo das 12 automotoras.

Tabela 5.1 – N.º de falhas por Sistema Reparável

Sistema Reparável	N.º Falhas
ROS	11
CTC	26
PAF	57
PTE	40
COM	23
CLM	4
INP	2
AUX	21
SCI	61

Partindo para a demonstração de resultados, começa-se por ilustrar a tabela 5.2, onde se pode observar o quadro dos resultados devolvidos pelo *SPSS*.

Tabela 5.2 - Quadro sumarizado dos resultados em *SPSS*

Case Processing Summary		N	Percent
Cases available in analysis	Event ^a	182	74,3%
	Censored	63	25,7%
	Total	245	100,0%
Cases dropped	Cases with missing values	0	,0%
	Cases with negative time	0	,0%
	Censored cases before the earliest event in a stratum	0	,0%
	Total	0	,0%
	Total	245	100,0%

Analisando a figura anterior, chega-se à conclusão de que existiram na totalidade 245 dados analisados pelo *software*, sendo que desse universo 63 correspondem a dados censurados e 182 são acontecimentos.

O método utilizado pelo *SPSS* para identificar os sistemas reparáveis significativos é denominado por método de *selecção sequencial para trás*, opção escolhida no *interface* como “*Backward Stepwise*”. O procedimento deste método consiste na retirada, um a um, por ordem decrescente de capacidade discriminante (as menos significativas), dos

SR seleccionados para análise. Por outras palavras, o procedimento consiste em colocar todas as variáveis no modelo e testar a sua significância, se as variáveis não forem significativas são retiradas do modelo, isto é, se o seu nível de significância for superior, neste caso, a 5%. O algoritmo termina quando é identificado o primeiro sistema reparável sem capacidade discriminante.

Retomando a demonstração de resultados da aplicação do *SPSS* referente ao MRP, pode-se ver na tabela resumo 5.3 de estimativa do MRP considerando todas as covariáveis, que o modelo é significativo, pois possui valor de prova inferior a 5%. Nesta primeira aproximação já se verifica que a idade do sistema no momento da falha (*TVIDA*) é também muito significativa.

Tabela 5.3 – Resultados do MRP com todas as covariáveis

Teste Global da Hipótese Nula: $[\beta] = 0$						
Critério		S/Covariáveis	C/Covariáveis	Qui-quadrado	Valor de prova	
-2Ln[L(β)]		1740,81	1460,09	280,72	0,0000	
Análise da Estimativa de Máxima Verosimilhança						
Variável	g.l.	Estimativa do Coeficiente (β)	Desvio Padrão	Wald Qui-quadrado	Valor de Prova	Relação de Risco
<i>TVIDA (Idade)</i>	1	-4,08E-06	3,29E-07	1,53E+02	0,00E+00	0,00E+00
<i>Rolamento e Suspensão</i>	1	-1,50E-02	1,09E+00	2,00E-04	9,89E-01	9,89E-01
<i>Caixa de Tracção e Choque</i>	1	6,46E-01	1,04E+00	3,89E-01	5,33E-01	5,33E-01
<i>Produção de Ar e Freio</i>	1	9,23E-01	1,02E+00	8,16E-01	3,67E-01	3,67E-01
<i>Potência Eléctrica</i>	1	6,54E-01	1,03E+00	4,05E-01	5,25E-01	5,25E-01
<i>Comando e Controlo</i>	1	3,69E-01	1,04E+00	1,26E-01	7,23E-01	7,23E-01
<i>Climatização</i>	1	2,52E-02	1,23E+00	4,00E-04	9,84E-01	9,84E-01
<i>Informação aos Passageiros</i>	1	6,80E-01	1,04E+00	4,28E-01	5,13E-01	5,13E-01
<i>Segurança à Circulação</i>	1	1,10E+00	1,02E+00	1,17E+00	2,79E-01	2,79E-01

As covariáveis significativas, após correr o *SPSS* com a rotina de eliminação automática de covariáveis (*backward Wald*) encontram-se esquematizadas na tabela que de seguida se apresenta.

Tabela 5.4 – Resultados do MRP após eliminação automática das covariáveis

Teste Global da Hipótese Nula: $[\beta] = 0$						
Critério	S/Covariáveis	C/Covariáveis	Qui-quadrado	Valor de prova		
$-2\text{Ln}[L(\beta)]$	1740,81	1464,375	276,44	0,0000		
Análise da Estimativa de Máxima Verosimilhança						
Variável	g.l.	Estimativa do Coeficiente	Desvio Padrão	Wald Qui-quadrado	Valor de Prova	Relação de Risco
<i>TVIDA (Idade)</i>	1	-4,09E-06	3,28E-07	1,55E+02	0,00E+00	1,00E+00
<i>Produção de Ar e Freio</i>	1	3,96E-01	1,89E-01	4,40E+00	3,59E-02	1,49E+00
<i>Segurança à Circulação</i>	1	5,79E-01	1,81E-01	1,03E+01	1,40E-03	1,78E+00

Como se poderá observar na tabela 5.4, são significativas, para o conjunto das automotoras em estudo, a idade das automotoras no momento em que a falha ocorreu, o sistema de Produção de Ar e Freio e o Sistema de Segurança na Circulação.

No que respeita à variável *TVIDA* que representa a idade do sistema no momento da falha, como já seria expectável, apresenta um coeficiente negativo o qual representa uma diminuição da função de risco para um aumento do número de quilómetros acumulados da automotora.

5.3. Identificação e Tratamento das Variáveis Significativas

A modelação dos subsistemas será realizada por intermédio de outra ferramenta estatística, o *software Statistica*. Nesta fase do estudo, apenas terá interesse modelar os dados relativos ao sistema reparável identificado como significativo no ponto anterior. Deste modo, o objectivo passará por propor um programa de manutenção preventiva, baseado na melhoria da fiabilidade dos componentes críticos.

Melhorando a fiabilidade dos subsistemas, melhora-se a fiabilidade dos sistemas reparáveis e, conseqüentemente, de toda a frota de automotoras deste estudo.

No entanto, antes de partir para uma proposta concreta para um plano de manutenção preventiva, será necessário esclarecer que depois da aplicação do *Modelo de Riscos Proporcionalis*, concluiu-se que o sistema reparável mais significativo é aquele que é responsável pela segurança na circulação (*SCI*). Este sistema contribui, de acordo com resposta do *software*, para um aumento de quase 200% (relação de risco igual a 1,78) da função de risco da automotora.

Assim, neste momento sabe-se que o sistema crítico se encontra presente no sistema reparável denominado por *SCI*. No entanto, para se avançar para um melhor processo de melhoria achou-se proceder ao estudo dos subsistemas que constituem o sistema reparável Segurança na Circulação.

Como se poderá ver no ponto 3.2.9 deste trabalho, o *SCI* é decomposto em dois grandes subsistemas: *HM* (Homem Morto) e *CVL* (Sistema de Convel). O *HM*, de uma forma geral, é um sistema de segurança que testa o maquinista em intervalos constantes de tempo de forma a confirmar que este se encontra bem de saúde e em condições físicas e psíquicas para levar a cabo a condução da automotora. Por sua vez, *CVL* poderá ser considerado com um sistema de segurança mais “inteligente”, ou seja, é um sistema de segurança que além de verificar a velocidade a que o material circulante segue num determinado circuito, testa também a validade no cruzamento com a sinalização vertical.

Depois de se ter identificado qual o sistema reparável crítico, avançou-se para a selecção do subsistema que o constitui para se poder prosseguir com o estudo. Esta escolha veio a revelar-se bastante fácil, pois bastou olhar para o histórico e facilmente se percebeu que o subsistema a estudar teria obrigatoriamente de ser o *CVL*. No entanto, para não existirem zonas ditas cinzentas, fez-se uma breve abordagem ao histórico e, tal como esperado, cerca de 85% das ocorrências estavam associadas ao Sistema de Convel.

No decurso do estudo, partiu-se então para a análise das falhas que tiveram como origem o subsistema referido. Iniciou-se esse procedimento pela categorização das falhas, isto é, tal como aquando da necessidade de criar a primeira base de dados deste estudo, existiu agora também a necessidade de se criar uma segunda base de dados com referência a cada uma das falhas do subsistema que lhe dera origem (*CVL*). Assim, depois de dissecar o subsistema nos seus componentes, as falhas foram imputadas de acordo com a política corrente da Empresa.

O sistema de Convel de uma forma bastante sintética funciona pelo entrelace de oito componentes que o constituem, de acordo com a figura 5.1.

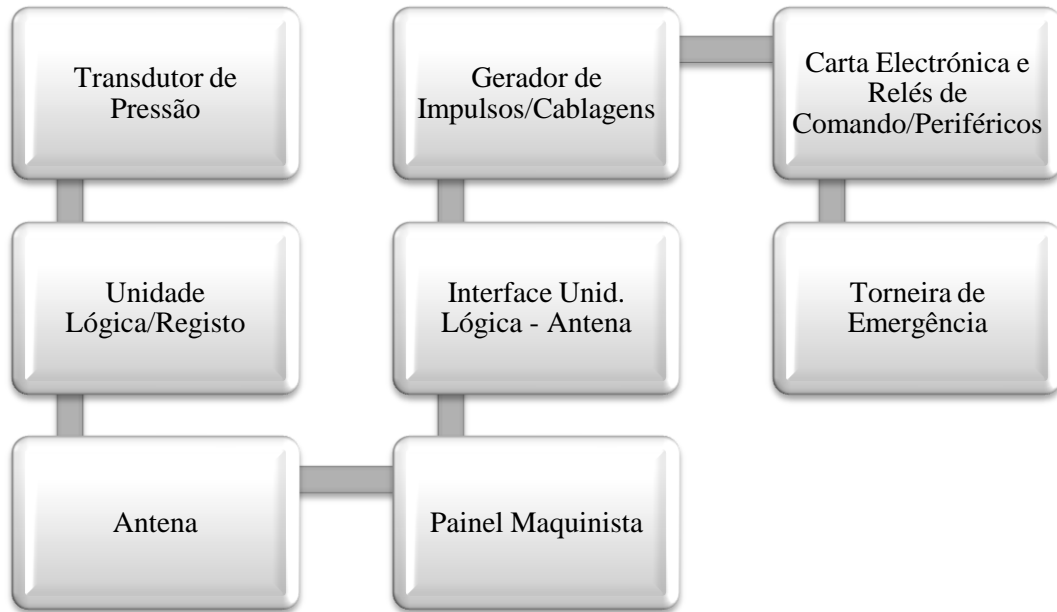


Figura 5.1 – Esquematização dos componentes do CVL

Construída a base de dados com toda a informação disponível de acordo com os componentes ilustrados na figura anterior, os resultados vieram a mostrar-se pouco elucidativos não sendo possível identificar um padrão e como tal as conclusões que se pudessem retirar teriam uma forte componente duvidosa. Veio a constatar-se que tal aconteceu porque o universo de falhas para o subsistema apurado era muito limitado.

Discutido o problema com a equipa de engenharia da empresa, foi proposta a ideia de extrapolação de dados. Sabendo à partida que o subsistema a estudar estava definido, e que o modo de funcionamento do mesmo é igual em todo o material circulante existente na frota, avançou-se para o estudo das automotoras UQE-S2300 e UQE-S2400.



Figura 5.2 – Automotora UQE-S2300/S2400

Apesar de não ser exactamente o mesmo material circulante em estudo neste trabalho, devido às características técnicas do material circulante, tipo de percursos e quilómetros percorridos diariamente, chegou-se à conclusão de que a extrapolação dos resultados do material circulante representado na figura 5.2 para as UQE-S3500 não teria impacto significativo e os resultados poderiam mesmo ser aplicados em dois tipos de material circulante.

Ultrapassada esta dificuldade, pôde-se avançar então para o estudo de cada um dos componentes do *CVL*, tendo-se concluído que o elemento mais fraco, em termos de fiabilidade, é o que é representado na figura 5.1 na 6ª posição, Gerador de Impulsos. Esta unidade é a responsável pela transmissão do sinal da velocidade captado na ponta do veio do rodado, e que depois de o reconverter, envia-o para a Unidade Lógica/Registo.

Posto isto, e depois de se ter elucidado brevemente qual a finalidade da existência do Gerador de Impulsos, será fácil depreender que a existência de falhas neste componente irá comprometer todo o funcionamento do *Sistema de Convel*, no que respeita ao controlo de velocidade instantânea.

5.3.1. Definição da Política de Manutenção Preventiva para o CVL

Como foi referido no início deste capítulo, o objectivo principal deste estudo será o de chegar a um conjunto de informação objectiva, de forma a se poderem retirar ilações com forte componente prática, visando a possibilidade de se implementar no PMP em uso na empresa.

Deste modo, com base nos modelos utilizados anteriormente e ao longo deste estudo, o objectivo passará pela proposta de uma política de manutenção preventiva baseada na distribuição estatística das falhas do *Sistema de Convel*. Esta periodicidade de intervenção estimada a partir da utilização do *software Statistica*.

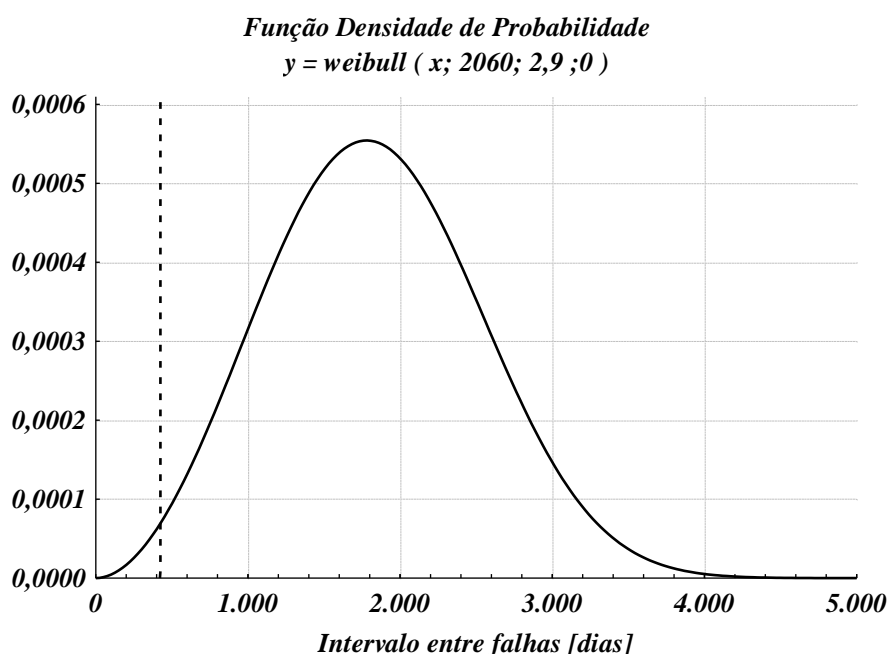


Figura 5.3 - Representação da Função de Densidade de Probabilidade Weibull

Como se pode verificar na figura 5.3, a proposta consiste na realização de intervenções de manutenção preventiva de 400 em 400 dias, sendo que estes dias correspondem a valores aproximados. De acordo com a distribuição de *Weibull* ajustada se o sistema for objecto de inspecções com a periodicidade indicada, a manutenção correctiva deverá ser reduzida para cerca de 1%. Assim com esta proposta pretende-se obter uma fiabilidade, para o *sistema de Convel*, próxima dos 99%.

Achou-se relevante referir, que nesta fase do estudo, se decidiu pela alteração da base temporal do mesmo. Isto é, se até à identificação de qual o sistema reparável ao qual se iria proceder a uma análise mais pormenorizada, este estudo baseou-se na base temporal

da quilometragem realizada pelas automotoras, nesta fase decidiu-se mudar para a base temporal de registo diária. Decidiu-se por essa caracterização visto o objectivo final ser o de definir uma política de manutenção preventiva, e como tal pensa-se que se a base do estudo assentar num enquadramento diário, o resultado final obtido será mais preciso e fiável, para uma eventual futura implementação.

Para a realização das intervenções de manutenção preventiva *Hard*, no sistema *Convel* dever-se-á proceder a uma análise com maior nível de detalhe deste subsistema. No entanto esse procedimento não foi executado por se considerar estar fora do âmbito deste trabalho.

Assim, não se propondo um procedimento específico de intervenção, sugerem-se algumas acções importantes como sejam: acções de limpeza com aspiração de todos os componentes electrónicos, nomeadamente das cartas electrónicas; observação visual de todo o sistema, incluindo o estado da cablagem referente à transmissão e processamento de dados eléctricos e electrónicos do sistema de *Convel*; e por último uma possível análise de vibrações ao sistema resultantes do conjunto roda - carril.

CAPÍTULO 6

CONCLUSÕES E SUGESTÕES

O presente trabalho abordou várias aplicações possíveis na área da Fiabilidade e Manutibilidade relativas ao material circulante propriedade da CP Frota, Automotoras UQE-S3500. Pretendeu ainda evidenciar a importância do seu desenvolvimento e aplicação de forma a obter uma ferramenta de apoio à decisão verdadeira e exacta.

Pensa-se ter contribuído com alguma inovação no que se refere à análise do sistema de manutenção em prática nas automotoras UQE-S3500. Desconhecem-se quaisquer aplicações utilizando os modelos estatísticos aqui abordados, que neste caso específico permitiram quantificar e qualificar o comportamento do material circulante referido.

De salientar o grande volume de trabalho que existiu na recolha, categorização e criação das diversas bases de dados utilizadas, pois a informação disponível estava apenas acessível em sistema SAP e não se encontrava categorizada para a aplicação deste tipo de estudo. A ordenação cronológica das falhas, o paralelismo entre a data da ocorrência e a quilometragem que a motora teria nesse momento vieram a revelar-se fulcrais para o sucesso deste trabalho.

Para um melhor sucesso neste trabalho, foi necessário caracterizar quais as funcionalidades no sistema de cada um dos sistemas reparáveis identificados. Apesar de também ter exigido um grande trabalho de campo e imensa proximidade com os técnicos da mecânica e da eléctrica no terreno, foi um trabalho fundamental para que nesta fase se pudesse concluir acertadamente e apontar os melhores trajectos futuros, com conceitos de aplicabilidade mais próximos da realidade.

O estudo da Taxa de Ocorrência de Falhas permitiu avaliar o comportamento global dos sistemas em análise, visto terem sido estudadas cada uma das 12 automotoras independentemente umas das outras, na fase inicial. A aplicação do teste de Laplace permitiu identificar a presença de tendência na sequência cronológica das falhas, ou seja, este teste revelou-se de uma grande mais valia neste tipo de estudos. Foi por

intermédio da sua aplicação que se identificaram diversos processos de *Poisson*. Para corroborar a sua validade, confirmaram-se esses resultados empíricos mediante a análise gráfica, que permitiu visualizar o comportamento dos sistemas ao longo do tempo.

Depois da aplicação do teste de *Laplace*, puderam retirar-se algumas conclusões interessantes. A primeira é a de que do universo das 12 automotoras em estudo, a sua distribuição de acordo a taxa de falhas apresentada é homogénea. Isto é, 6 delas apresentaram uma taxa de falhas decrescente e as outras 6 uma taxa de falhas constante. A segunda conclusão é que, de acordo com o padrão de falhas *curva da banheira*, nenhuma das automotoras se encontra na zona de desgaste, pois não existiu nenhuma com taxa de falhas crescente. Metade das automotoras encontrava-se em pleno período de laboração com todas as falhas iniciais já resolvidas e a outra metade ainda se encontrava no período de adaptação, também reconhecido por mortalidade infantil, sendo que nesses casos o futuro será o avanço para uma situação de taxa de falhas constante.

Da aplicação do *Modelo de Riscos Proporcional* retiraram-se algumas conclusões, nomeadamente quais os sistemas reparáveis críticos, ou seja, aqueles que podiam, pelo seu elevado risco de falha, colocar toda a automotora em situação de indisponibilidade. Assim, de acordo com o modelo já referido chegou-se à conclusão de que os sistemas reparáveis com maior probabilidade de falha seriam:

- PAF – Produção de Ar e Freio
- SCI – Segurança na Circulação

Apesar de o estudo ter incidido onde o risco de falha foi maior, caso do SCI, verificou-se, também, que não se deveria descurar a importância da manutenção ao sistema PAF. Este revelou ser um sistema vital para o funcionamento da automotora, devido não só à existência de bastantes mecanismos pneumáticos ao longo de toda a sua estrutura, mas também por esse sistema ter responsabilidades no que concerne a equipamentos de segurança activa e passiva no material circulante.

Apesar do sistema SCI ter sido decomposto nos seus subsistemas principais, HM e CVL, avançou-se para onde existiu uma maior incidência de ocorrências, de acordo com o histórico. Por sua vez, o sistema de *Convel* foi também dividido nos seus componentes tendo-se concluído que o elemento mais fraco, em termos de fiabilidade,

era o Gerador de Impulsos/Cablagens. Atentando no seu funcionamento, percebe-se este resultado com alguma naturalidade. Este é o componente responsável pela transmissão do sinal da velocidade captado do veio do rodado e, depois de reconvertido, se encarrega de o enviar para a Unidade Lógica/Registo. Devido ao seu funcionamento e, principalmente à sua localização física na automotora, verificou-se que se encontra num dos locais onde devido às enormes vibrações características do movimento do material circulante, o local de captação do sinal ser complicado e a susceptibilidade a intempéries ser mais elevada, o número de falhas ocorridas neste componente é perceptível e existe alguma margem de manobra para implementar melhorias.

Uma vez que o objectivo deste estudo passou principalmente pela elaboração de uma proposta para uma política de manutenção preventiva, pode estimar-se que com a implementação de manutenções preventivas de 400 em 400 dias obter-se-á uma fiabilidade para o sistema reparável de cerca dos 99%.

De forma a concluir este capítulo pode-se referir que se apenas se pretender fazer um estudo preliminar, não descurando a busca incessante de informação importante sobre o sistema que se pretende dissecar, pode-se pensar que a determinação da tendência das falhas dos sistemas reparáveis, complementadas com a determinação do respectivo tempo médio entre falhas será um bom indício e contribuirá para uma boa previsão do comportamento dos sistemas reparáveis. Na realidade para que essa análise seja validada é importante recorrer à utilização de modelos de riscos proporcionais.

Mostrou-se neste estudo, através de um exemplo, a potencialidade do *PHM* para, num conjunto elevado de subsistemas avaliar aqueles que apresentam maior probabilidade de falha. Por outro lado, ao considerar como variável independente a idade do sistema no momento da falha, é possível validar a informação obtida pelo teste de Laplace e garantir, para este caso, que a fiabilidade das automotoras tem melhorado, substancialmente, ao longo da sua utilização.

No que respeita ao sistema de *Convel* pensa-se que não será adequada a política de manutenção correctiva que está implementada, podendo mesmo comprometer a fiabilidade da automotora. Deste modo, sugere-se a inclusão deste sistema no plano de manutenção preventiva actual com uma periodicidade anual.

BIBLIOGRAFIA

- **Ansell, J.I. e Phillips, M.J.** (1989). Practical Problems in the Analysis of Reliability Data (with discussion), *Applied Statistics* Vol. 38, No. 2, pp. 205-247.
- **Ascher, H. e Feingold, H.** (1984). *Repairable System Reliability – Modeling, Inference, Misconceptions and Their Causes*, Lectures Notes in Statistics, Marcel Dekker, New York.
- **Assis, R.** (1997). *Manutenção Centrada na Fiabilidade, economia das decisões*. LIDEL, Lisboa.
- **Baptista, L.M.L.** (2007). *RAMS Aplicado a Sistemas Reparáveis – Extracção de Oleaginosas*. Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologia.
- **Bentley, J.P.** (1993). *An Introduction to Reliability, Quality Engineering*, Longman Scientific & Technical, John Wiley & Sons, New York.
- **Bento, M.A.P.O., Dias, J.A.M., e Pires, J.A.M.** (2009). Aplicação do Modelo de Riscos Proporcionais na Gestão *Soft* da Manutenção de Automotoras UQE-S3500. *Encontro Nacional de Riscos, Segurança e Fiabilidade, Lisboa, Portugal*.
- **Bohoris, G.A.** (1996a). Trend Testing for Complex Repairable Systems. *International Journal of Quality & Reliability Management*, Vol. 13, No. 6, pp. 18-28.
- **Bohoris, G.A.** (1996b). Trend Testing in Reliability Engineering. *International Journal of Quality & Reliability Management*, Vol. 13, No. 4, pp. 45-54.
- **Cabral, J.S.** (1998). *Organização e Gestão da Manutenção: dos conceitos à prática*. Lidel Edições Técnicas Lda., Lisboa.
- **Collett, D.** (1994). *Modelling Survival Data in Medical Research*, Chapman & Hall, London.
- **Cox, D.R.** (1972). Regression Models and Life Tables (with Discussion), *Journal of the Royal Statistical Society (B)*, Vol. 34, No. 1, pp. 187-220.
- **Cox, D.R. e Oakes, D.** (1984). *Analysis of Survival Data*, London Chapman & Hall.

- **Cox, D.R. e Snell, E.J.** (1969). A General Definition of Residuals, *Journal of the Royal Statistical Society (B)*, Vol. 34, No. 1, pp. 187-220.
- **Dias, J.A.M.** (2002). *Fiabilidade em Redes de Distribuição de Energia Eléctrica*. Tese de Doutoramento. Lisboa: Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Departamento de Engenharia Mecânica e Industrial.
- **Dias, J.A.M. e Pereira, Z.L.** (2005). Fiabilidade e Gestão da Manutenção de Sistemas Reparáveis em *Análise e Gestão de Riscos, Segurança e Fiabilidade, Volume II*. C. Guedes Soares, A.P. Teixeira e P. Antão (Eds). Edições Salamandra, Lisboa. pp. 591-602.
- **Dias, J.A.M., Pereira, Z.L. e Leitão, A.L.F.**, (1999). Sistemas Reparáveis: Modelos de Fiabilidade, *Actas do Seminário “Segurança, Fiabilidade e Análise de Avarias”*, Escola Naval, Base Naval de Lisboa.
- **Dias, J.A.M., Pereira, Z.L. e Leitão, A.L.F.** (1997a). A Gestão da Manutenção Industrial pela Fiabilidade. *Actas do I Encontro Nacional de Engenharia Industrial, Lisboa, Portugal*.
- **Dias, J.A.M., Pereira, Z.L. e Leitão, A.L.F.** (1997b). Fiabilidade em Sistemas de Transformação de Alta Tensão, *Actas do III Congresso Ibero-Americano de Engenharia Mecânica, Havana, Cuba*.
- **Doyen, L. e Gaudoin, O.** (2002). *Stochastic Modeling of Maintenance Effect on Systems Lifetime*. Comunicação apresentada no 22º Seminário da European Safety, Reliability & Data Association, Madrid.
- **Ferreira, L.A.** (1998). *Uma Introdução à Manutenção*, Publindústria Edições Técnicas, Porto.
- **Gnedenko, B. e Ushakov, I.** (1995). *Probability Reliability Engineering*, John Wiley & Sons, New York.
- **Gonçalves, C.D.F.** (2005). *Gestão da Manutenção de um Sistema de Cozedura na Indústria Cimenteira*. Tese de Mestrado. Lisboa: Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologia.
- **Juran, J.M., Gryna, F.M. e Bingham, R.S.** (1962). *Quality Control Handbook*, (3ª ed.), McGraw-Hill, New York.

- **Kaplan, E.L. e Meier, P.** (1958). Nonparametric Estimation From Incomplete Observations, *Journal of the American Statistical Association*, Vol. 53, No. 2, pp. 457-481.
- **Kobbacy, K.A.H. e Jeon, J.**, (2002). Generalized Non-Stationary Preventive Maintenance Model for Deteriorating Repairable Systems, *Quality and Reliability Engineering International*, 18, pp. 363-372.
- **Kalbfleisch, J.D. e Prentice, R.L.** (1980). *The Statistical Analysis of Failure Time Data*, John Wiley & Sons, Inc., New York.
- **Lampreia, S.P.G.F.S.** (2005). *Fiabilidade e Manutibilidade de Sistemas Marítimos de Pequena e Média Dimensão*. Tese de Mestrado. Lisboa: Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologia.
- **Lee, E.T. e Wang, J.W.** (2003). *Statistical Methods for Survival Data Analysis*, (3ª ed.), John Wiley & Sons Publication, Oklahoma, United States of America.
- **Leitão, A.L.F.** (1989), *Proportional Hazards Methods in Industrial Reliability and Maintenance*, PhD Thesis, University of Birmingham, UK.
- **Leitão, A.L.F. e Newton, D.W.** (1989). Proportional Hazards Modelling of Aircraft Cargo Door Complaints, *Quality and Reliability Engineering International*, Vol. 5, No. 4, pp. 229-238.
- **Lloyd, D.K. e Lipow, M.** (1984). *Reliability: Management, Methods and Mathematics*, (2ª ed.), The American Society for Quality Control, Wisconsin, United States of America.
- **Mobley, R.K., Higgins, L.R. e Wikoff, D.J.** (2008). *Maintenance Engineering Handbook*, (7ª ed.). McGraw-Hill, New York.
- **Moubray, J.** (2000). *Reliability-Centred Maintenance (RCM) – Manutenção Centrada em Confiabilidade*, (edição brasileira), Aladon Ltd, United Kingdom.
- **Niebel, B.W.** (1994). *Engineering Maintenance Management*, (2ª ed., revised and expanded), Marcel Dekker, New York.
- **O'Connor, P.D.T.**, (2002). *Practical Reliability Engineering*, (4ª ed.). Baffins Lane, Chichester, England: John Wiley & Sons, Ltd.
- **Pinto, C.V.** (1999). *Organização e Gestão da Manutenção*, Monitor – Projectos e Edições, Lda., Lisboa.
- **Smith, A.M.** (1993). *Reliability-Centered Maintenance*. McGraw-Hill, United States of America.

- **Stillman, R.P.** (1999). Modeling Failure Data of Overhead Distribution System, *IEEE Transaction on Power Delivery*, Vol. 15, No. 4, pp. 1238-1242.
- **Tavares, L.A.** (2004). A Evolução Histórica da Manutenção: 20 Anos de Abraman – Associação Brasileira de Manutenção, *Nova Revista de Manutenção y Qualidade*, No. 54.
- **Tomé, J.** (2009). *Segurança no Transporte Ferroviário – Evolução dos sistemas de sinalização como contributo para a segurança ferroviária.* Apresentação em 28-10-2009 à Ordem dos Engenheiros.
- **Zaions, D.R.** (2003). *Manutenção Industrial com Enfoque na Manutenção Centrada em Confiabilidade.* Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção. Brasil: Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

ANEXO 3

Descrição dos Sistemas Reparáveis

Sistema Reparável Produção de Ar e Freio - PAF

- **Compressor**

Órgão que permite comprimir o ar. Pode ser accionado a partir do motor diesel da unidade motora ou através de motor próprio. Encontra-se generalizado o uso de compressores de êmbolos, embora exista a tendência para o aparecimento de compressores de parafuso, mais leves e silenciosos.

- **Conduta Geral**

Conduta que percorre todo o comboio e através da qual é comandado o freio (em cada veículo esta conduta é constituída pelas mangueiras de acoplamento e por um tubo que percorre todo o veículo).

- **Conduta Principal**

Existe em alguns veículos e é permanentemente alimentada a partir do compressor com ar comprimido a uma pressão superior à da conduta geral.

- **Reservatório Auxiliar**

Como o nome indica é um reservatório que contém uma reserva de ar comprimido que os distribuidores utilizam para enviar aos cilindros de freio durante o aperto.

- **Pressão de Regime**

É a pressão que é estabelecida na conduta geral na posição de freio desapertado. Esta *Pressão de Regime* está normalizada com o valor de 5 Bar.

- **Órgão de Comando**

É o dispositivo que, através do manípulo de comando do freio situado na cabine de condução, permite fazer a variação de pressão no interior da conduta geral. Em alguns casos, este comando desencadeia de igual forma o comando eléctrico de freio pneumático. Por vezes, pode ainda existir um sistema automático que a partir da solicitação do maquinista faz a gestão dos sistemas de freio disponíveis de modo a otimizar a sua utilização.

- **Distribuidor de Freio**

É o órgão responsável pela detecção e interpretação das variações de pressão que podem ocorrer na conduta geral. Se tal acontecer, irá desencadear localmente o aperto ou desaperto do freio através do envio de uma pressão de frenagem ao(s) cilindro(s) de freio.

- **Cilindro de Freio**

Órgão que transforma a pressão de frenagem em força que através da timoneria é aplicada às guarnições.

- **Guarnições**

Elementos de desgaste que garantem o atrito necessário à frenagem. Este elementos podem ser construídos em muitos materiais, no entanto, os mais usuais são os cepos em ferro fundido ou sintético ou pastilhas dos sistemas de freio de disco.

- **Timoneria**

Conjunto de peças mecânicas que transmitem a força desde o cilindro de freio até às guarnições.

- **Regulador de Folga (SAB)**

É um elemento da timoneria, que permite manter constante a folga entre as guarnições e a superfície de frenagem. (roda ou disco)

Sistema Reparável Potência Eléctrica - PTE

Constituição mais pormenorizada do sistema reparável de Potência Eléctrica, tendo em conta a identificação da sua constituição presente no Capítulo 3, ponto 3.2.4.

- **Transformador Principal - TP**

O transformador principal é o órgão que tem como objectivo a adaptação da tensão captada na catenária pelo pantógrafo em valores utilizáveis pelas unidades motoras que constituem a automotora.

Este transformador baixa a tensão da catenária de 25 KV/50Hz para as tensões necessárias à alimentação dos motores de tracção, dos órgãos auxiliares e do aquecimento existente nas galarias onde estão os passageiros e na cabine de condução.

É constituído por um autotransformador de regulação com tantas tomadas de corrente quantos os pontos de força/tracção existente na locomotiva/automotora em cada caso. A razão de existirem tantas tomadas de corrente no transformador principal é para estas poderem ser seleccionadas pelo Graduador. Este será o subcomponente que, conforme a selecção feita pelo maquinista nos comandos da força de tracção da motora, irá proporcionar aos motores de tracção uma variação de tensão gradual, conforme a velocidade do veículo.

- **Graduador - GRD**

Como já foi referido atrás, o graduador é o dispositivo de regulação que tem como objectivo comutar as tensões provenientes das tomadas do transformador principal para a alimentação dos motores de tracção.

A montagem do graduador é feita directamente no transformador principal. Os seus conjuntos de contactos estão imersos em óleo com propriedades isolantes e permitem os cortes de corrente sem carga. O corte em carga é assegurado pelos contactores principais. Actualmente, este sistema foi substituído por conversores electrónicos de potência conhecidos por GTO (*Gate Turn Off*).

Estes novos sistemas têm a vantagem de serem mais precisos na regulação, proporcionando uma variação suave da velocidade das unidades motoras. Possuem também a vantagem de simplificar o transformador principal, pois não são necessárias

as tomadas de regulação para o graduador. Além do mais, são componentes de electrónica de potência muito mais complexos e mais eficientes que os tirístores. Em particular, têm, em relação a estes últimos, a vantagem de produzirem muito menos componentes harmónicas susceptíveis de interferirem nos circuitos de sinalização da via.

- **Pantógrafo - PTF**

O pantógrafo tem como função captar da catenária a corrente de alimentação indispensável para a marcha das automotoras.

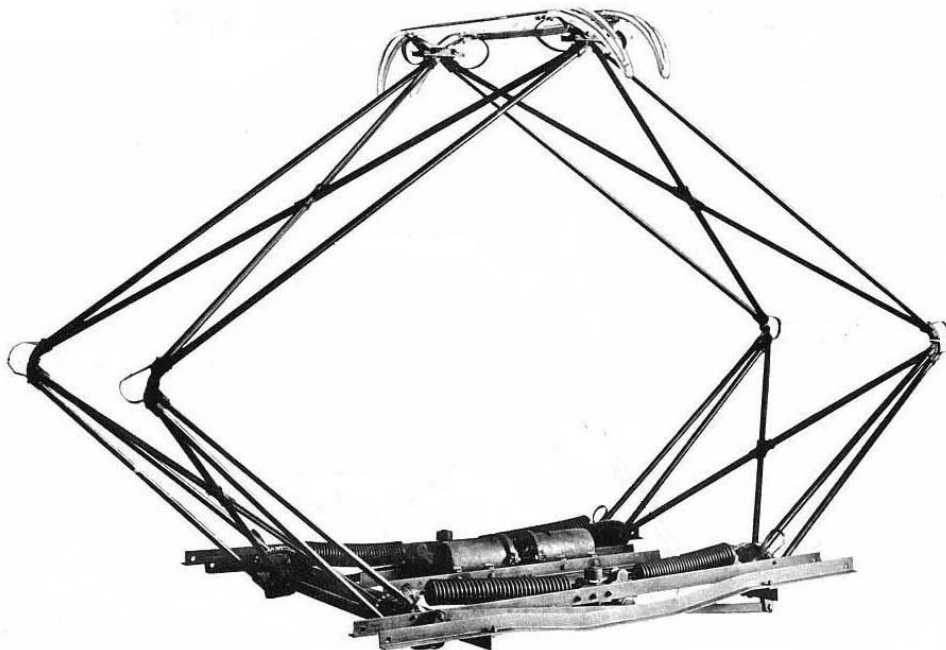


Figura 3.5 - Pantógrafo

O pantógrafo é constituído por:

- Uma plataforma base que assenta no tejadilho do veículo, apoiada em isoladores;
- Duas escovas de carvão que se ajustam à catenária por acção da paletas;
- Braço superior que suporta o conjunto de paletas e escovas;
- Braço inferior que liga a plataforma base ao braço superior.

Na plataforma base encontram-se as molas de recuperação e o acoplamento ao servo motor de accionamento.

- **Disjuntor Principal - DP**

O disjuntor principal pode ser considerado como um interruptor electropneumático que tem como finalidade ligar ou desligar à tensão da catenária o circuito eléctrico das unidades motoras.



Figura 3.6 - Disjuntor Principal

Tendo em atenção a sua configuração, o disjuntor principal pode ser dividido em duas partes distintas, mas com igual nível de importância para o seu funcionamento:

- A superior – é onde predominam os componentes eléctricos de potência;
- A inferior – é onde se localizam os componentes de comando.

Os processos de actuação ligar/desligar são feitos através de um sinal eléctrico à bobina de ligar ou à bobina de desligar que comandam o sistema pneumático.

- **Resistência *Shunt* - RSH**

De uma forma muito simples e simplificada, este equipamento passa por resistências que são ligadas em paralelo com cada um dos campos dos motores de tracção.

Existem dois tipos de funções para as resistências *shunt*:

- As resistências permanentes, que têm por função manter afastadas do campo os harmónicos de corrente do motor;
- As resistências de ligação temporária, que têm como finalidade a redução da corrente de campo aumentando a velocidade do motor.

- **Contactor Principal - CPR**

Contactores são aparelhos que têm como função proceder ao corte e comando de correntes fortes. Existem três tipos de contactores: electromagnéticos, electropneumáticos e cames.

Os contactores principais das motoras em estudo são do tipo comandadas por cames. O seu accionamento é feito pelo servo-motor do graduador e têm como objectivo fazer o corte da corrente dos motores em carga, permitindo que o graduador faça a mudança de escalão, em vazio.

Sistema Reparável Comando e Controlo - COM

Os equipamentos de protecção e segurança (sondas, termóstatos, pressostatos, fusíveis, disjuntores, sinalizadores, avisos sonoros, etc.) protegem as máquinas principais e auxiliares de manobras impróprias e incorrectas dos maquinistas e falhas dos sistemas, maquinaria e equipamentos que fazem parte do grupo electrogéneo.

Se estes incidentes não forem detectados e alertados por sistemas de protecção, que de acordo com uma hierarquia de gravidades impedem o motor de trabalhar, os equipamentos funcionariam até à sua exaustão resultando numa destruição completa, podendo inclusive pôr em risco a segurança de pessoas e bens para além dos prejuízos materiais elevadíssimos.

- **Protecções e Sinalizações**

O circuito de controlo principal da automotora tem diversas sondas localizadas estrategicamente nos seus diversos componentes e subcomponentes. Estas, ligam-se a um circuito de protecção e segurança que, por sua vez, se encontra ligado a um sinalizador sonoro de alarme. Deste modo, se algum componente apresentar indícios de mau funcionamento, a sonda detecta essa anomalia e actua o sinal sonoro de alarme, alertando o maquinista para essa evidência, levando-o a tomar as precauções necessárias.

- **Manómetros**

São todo o tipo de aparelhos para medir a pressão dos fluidos que fazem parte do sistema geral, que é a automotora. A sua influência de actuação vai desde a indicação da pressão do ar de comando da automotora, do reservatório de ar comprimido da conduta do freio e dos cilindros do freio.

- **Caixa Lumiteste**

É uma caixa com várias simbologias de tipos de falhas que se encontra na mesa de condução. Assim, se uma determinada falha ocorrer, a sua luz respectiva acender-se-á de modo a dar conhecimento ao maquinista da ocorrência.

- **Termostatos e Pressostatos**

Os termostatos são aparelhos que comparam as variações de temperatura e podem fazer actuar circuitos eléctricos mediante essas leituras.

Os pressostatos são aparelhos que comparam as variações de pressão dos fluidos e podem fazer actuar circuitos eléctricos mediante essas leituras.

- **Electroválvulas**

São dispositivos constituídos por um electroíman e uma válvula em que a passagem do fluído através da válvula é controlada pelo electroíman que, mediante uma determinada corrente eléctrica, abre ou fecha a válvula.

Sistema Reparável Segurança na Circulação - SCI

Além dos constituintes já referidos no ponto 3.2.9 deste trabalho, pertencentes ao sistema reparável SCI, existem outros sistemas de segurança presentes na automotora estudada. Serão esses que se apresentam de seguida.

Depois de apresentado o sistema de controlo de velocidade (CONVEL), passar-se-á à exposição de mais três sistemas de segurança que podem ser encontrados no material circulante. Apesar de terem uma taxa de utilização inferior aos restantes, a sua importância para a segurança na circulação encontra-se nos mesmos padrões de relevância.

- **Sistema Rádio Solo**

O sistema rádio solo – comboio, permite as comunicações entre as torres de controlo e os comboios e entre os comboios e as estações em serviço. Estas comunicações estão sustentadas através de um conjunto de emissores/receptores interligados entre si por uma rede de telecomunicações.

A sua função passa essencialmente pela tomada de decisões que interfiram com a circulação dos comboios, especialmente em casos onde ocorram alterações relativamente ao programado. Possibilita ainda a eliminação de situações potenciais de perigo.

Entre as comunicações mais comuns estão as trocas de informação sobre falhas na sinalização e instalações fixas, comunicações sobre falhas ou deficiências na composição, prestação de socorro e ordens sobre alterações na circulação. O sistema rádio solo permite também a transmissão automática de informação relativa ao CONVEL.

- **Freio de Emergência**

O freio de emergência, tal como o nome indica, existe para fazer face a situações anómalas em que é necessário frear com a maior rapidez possível.

Na grande maioria dos casos, este sistema de emergência é constituído por uma válvula, denominada por válvula de *murro*, com micro-interruptores ligada à conduta geral.

De uma forma resumida e simples, a actuação do freio de emergência trazuz-se em apenas duas tarefas:

- i. Pôr a conduta geral à atmosfera;
- ii. Corte de tracção.

Assim, quando actuada a válvula de emergência, é aberta uma passagem franca na conduta geral provocando uma rápida descompressão da mesma conduta. Esta rápida descompressão inicia uma imediata aplicação do freio no máximo das suas possibilidades ao mesmo tempo que a tracção é inibida através de sinais eléctricos.

Numa frenagem de emergência completa, a pressão na conduta geral vai até ao valor zero.

→ **Sinal de Alarme de Passageiros**

Nos locais destinados ao transporte de passageiros e em locais estratégicos ao longo de todo o material circulante, existem dispositivos de alarme para que seja possível parar a composição em situações de emergência.

A constituição deste sistema de segurança consiste na maioria dos casos a uma alavanca que actua numa válvula ligada à conduta geral. A actuação do sinal de alarme desencadeia os dois processos que se explicitam em baixo:

- i. A descarga completa da conduta geral;
- ii. Directa ou indirectamente, o corte da tracção.

Assim, quando actuado o sinal de alarme de passageiros, tal como numa frenagem de emergência, é aberta uma passagem franca na conduta geral que provoca uma rápida descompressão da mesma conduta e a consequente aplicação máxima do freio. A inibição da tracção, no caso de actuação do sinal de alarme de passageiros, é na maioria dos casos provocada pela descompressão da conduta geral.

Apesar de a sua função ser a de parar a composição, nalguns tipos de veículos a actuação do sinal de alarme pode ser inibida pelo maquinista. Numa actuação do sinal de alarme a pressão na conduta geral também cai até zero.

ANEXO 4

Cálculos efectuados para o Capítulo 4

Este anexo é respeitante à totalidade dos cálculos que foram realizados para determinar que tipo de taxa de falhas cada automotora possuía e encontrar o mínimo garantido de MTBF para cada um dos sistemas.

Uma vez que seria demasiado pesado para colocar no corpo do relatório, foi decidido colocar em anexo, de forma a ser consultável todos os cálculos que se efectuaram para cada uma das automotoras em estudo.

4.3.1. Automotora UQE – 3519

O teste de Laplace, baseado numa estatística amostral, permite verificar se a taxa de falhas é constante, ou se pelo contrário, apresenta alguma tendência (Dias, 2002).

Na tabela 4.1 que se segue, apresenta-se por ordem cronológica os quilómetros que a automotora apresentava no momento de cada um dos incidentes. Assim, na tabela referida, estão representados os quilómetros acumulados aquando da falha, bem como o seu sistema reparável e subsistema respectivo.

Tabela 4.1 – Quilómetros acumulados por falha ocorrida na UQE3519

Ordem	Data da Falha	Histórico Falhas [km]	Sistema Reparável	Subsistema
1	05-01-2000	4999	AUX	CVE15
2	20-06-2000	57560	AUX	CIB3519M
3	22-10-2000	112821	CTC	CAI05
4	24-06-2001	189811	PTE	CVE14
5	31-10-2001	219302	CTC	CAI05
6	22-11-2001	225704	CTC	CAI05
7	18-02-2003	352347	CTC	CAI05
8	19-05-2003	376227	PAF	FRP3519M
9	11-11-2003	422621	PTE	DJP07
10	22-12-2003	432617	SCI	ATC3519M
11	16-10-2005	647892	AUX	CIB3519M
12	23-01-2006	686263	AUX	CIB3519M
13	04-05-2006	729258	COM	Relés
14	10-04-2007	873419	PTE	PAN08
15	15-09-2007	941915	COM	Relés
16	28-05-2008	1032921	COM	Cabine Condução

Na figura 4.2, representam-se graficamente os valores apresentados na tabela 4.1, sendo que no eixo das abcissas está enumerado o histórico das falhas, e por sua vez, no eixo das ordenadas a ordem numérica de cada uma das respectivas falhas. Decidiu-se representar este gráfico, porque de uma forma grosseira podem-se retirar as primeiras

conclusões sobre qual o comportamento deste histórico, que compõe a automotora 3519. Assim, grosseiramente, se for possível ajustar uma recta ao conjunto de pontos enumerados, a tendência será a de se estar perante um Processo de Poisson Homogéneo, PPH.

Levando apenas em linha de consideração o gráfico apresentado na figura 4.2, poder-se-á estimar que a taxa de falhas seguirá muito provavelmente uma taxa de falhas decrescente. Porque como se pode visualizar, não se consegue ajustar uma recta ao conjunto de pontos que constituem o histórico. De seguida, poder-se-á comprovar por intermédio dos cálculos realizados.

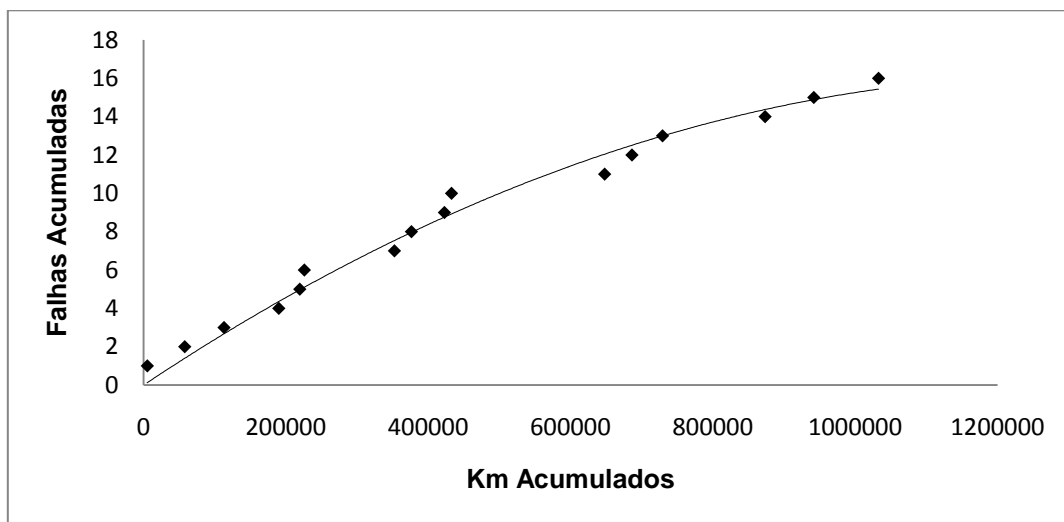


Figura 4.2 – Incidentes UQE3519 em função da quilometragem acumulada

De forma a comprovar as previsões que se fizeram atrás, ir-se-á apresentar os dados realizados para esta automotora. A expressão utilizada, pode ser encontrada no capítulo 2 deste estudo, com o número 2.1. Assim, a aplicação da referida fórmula será utilizada para as dezasseis falhas e com um período de observação do teste de 1.300.000 quilómetros.

$$z_0 = \sqrt{12n_f} \left[\frac{\sum_{i=1}^{n_f} \tau_i}{n_f T} - 0,5 \right] = (\sqrt{12 \cdot 16}) \left[\frac{7305677}{16 \cdot 1300000} - 0,5 \right] = -2,061$$

Se for considerado um nível de significância de $\alpha = 0,10$, usualmente mais utilizado, tem-se que: $Z_{\alpha/2} = Z_{0,05} = 1,645$.

Uma vez que, $|Z_0| > Z_{\alpha/2}$, rejeita-se a hipótese nula, H_0 , permitindo desta forma garantir a veracidade da análise gráfica anteriormente apresentada. Deste modo, já se

sabe que se está perante um Processo de Poisson Não Homogéneo (PPNH), em que o sistema apresenta uma taxa de falhas decrescente.

Neste género de sistemas, taxa de falhas decrescente, existe uma tendência para o aumento dos intervalos de tempo entre os incidentes. Deste modo, pode-se referir que esta automotora, tem aumentado a sua fiabilidade, o que na prática se poderá concluir que as manutenções a que tem sido sujeita têm estado a contribuir para a sua fiabilidade total do sistema que a compõe.

Segundo Dias (2002), os sistemas com tendência para uma taxa de falhas decrescente podem ser analisados pelo Modelo de Crow, vulgarmente conhecido como Modelo de Fiabilidade Crescente.

Deste modo, utilizando o Modelo de Crow, parte-se para o cálculo da estimativa do MTBF para as falhas mais recentes, utilizando a expressão 2.4, obtendo-se os coeficientes β e $\hat{\lambda}$ de acordo com as expressões 2.5 e 2.6.

$$\hat{\beta} = \frac{n_f}{\sum_{i=1}^{n_f} \ln \frac{T}{\tau_i}} = \frac{16}{\sum_{i=1}^{16} \ln \frac{1300000}{\tau_i}} = 0,6609$$

$$\hat{\lambda} = \frac{n_f}{T^{\hat{\beta}}} = 0,0015$$

Assim, a estimativa da taxa de falhas será:

$$\rho = \hat{\lambda} \beta \tau^{(\beta-1)} = 0,0015 \cdot 0,6609 \cdot 1300000^{(0,6609-1)} = 8,13 \times 10^{-6}$$

Logo, o valor estimado para o MTBF referente à automotora UQE-3519 será dado através da expressão 2.7, e tem o valor de:

$$\theta = \frac{1}{\hat{\lambda} \beta \tau^{(\beta-1)}} = \frac{1}{\rho} = 122940 \text{ km}$$

Este modelo permite ainda definir também intervalos de confiança para a estimativa calculada do MTBF. De acordo com as expressões 2.8 e 2.9, para os quilómetros percorridos neste sistema em estudo, considerando o número de falhas ocorridas, para um nível de significância de 10% ($\alpha = 10\%$), ter-se-á:

$$\text{Limite inferior: } \theta_i = \theta \pi_1 = 122940 \cdot 0,556 = 68355 \text{ km}$$

$$\text{Limite superior: } \theta_s = \theta\pi_2 = 122940 \cdot 2,029 = 249445 \text{ km}$$

Depois de se observarem estes dados, pode-se concluir que o intervalo de confiança definido após a estimação do MTBF, e uma vez que se está perante uma taxa de falhas decrescente, significa que ao longo do período do estudo os intervalos de tempo entre falhas apresentam tendência para aumentar. Este factor, poderá ser entendido como um óptimo factor para a optimização do PMP. Pois, mantendo-se as condições de funcionamento do sistema, as imobilizações para efeitos de manutenção ao equipamento poderá ser aumentado, contribuindo neste caso num maior tempo de disponibilidade em serviço e menor transtorno aos seus utilizadores por imobilizações durante a prestação do serviço.

Já com o objectivo de se introduzir e perspectivar a segunda parte deste estudo, apresentar-se a figura 4.3, onde se pode apontar qual o sistema reparável que mais contribui para as paragens em serviço que ocorreram nesta automotora.

Tabela 4.2 – Número de Falhas ocorridas por SR – UQE3519

Sistema Reparável	Frequência Absoluta	Frequência Relativa	Frequência Relativa Acumulada
CTC	4	0,25	0,25
AUX	4	0,25	0,50
PTE	3	0,19	0,69
COM	3	0,19	0,88
PAF	1	0,06	0,94
SCI	1	0,06	1,00
ROS	0	0,00	1,00
CLM	0	0,00	1,00
INP	0	0,00	1,00

E o gráfico correspondente:

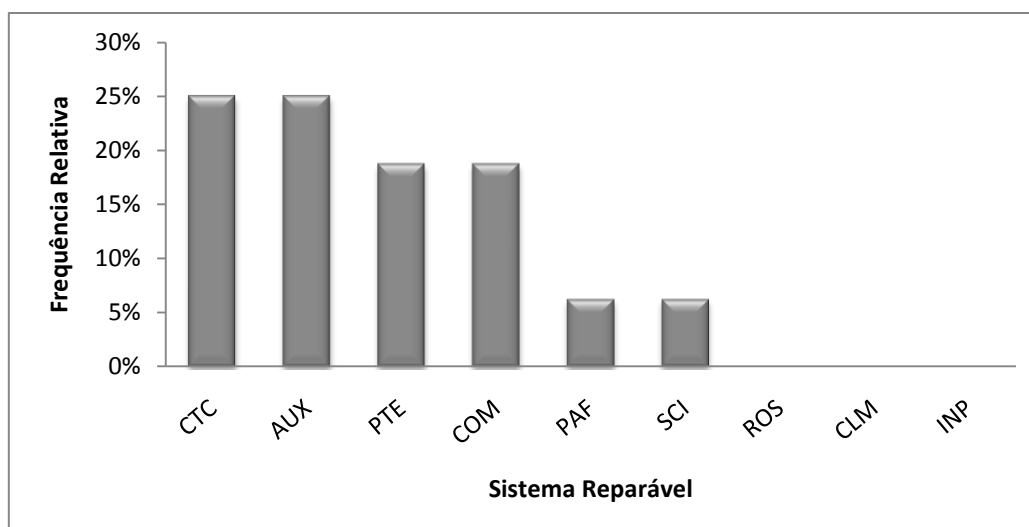


Figura 4.3 – Causas de paragem em função do Sistema Reparável (UQE3519)

Como se pode ver na figura acima, no caso desta automotora os sistemas reparáveis que maior contributo tiveram para a sua imobilização em linha, foram sem dúvida os que se relacionam com a Caixa, Tracção e Choque e com os Auxiliares, em que os dois em conjunto perfizeram metade das responsabilidades dessas mesmas paragens. Em situação muito parecida, estiveram os que se responsabilizam pelo bom funcionamento da potência eléctrica e do comando e controlo.

4.3.2. Automotora UQE – 3520

Na tabela 4.3 que se segue, apresenta-se por ordem cronológica os quilómetros que a automotora apresentava no momento de cada um dos incidentes. Assim, na tabela referida, estão representados os quilómetros acumulados aquando da falha, bem como o seu sistema reparável e subsistema respectivo.

Tabela 4.3 - Quilómetros acumulados por falha ocorrida na UQE3520

Ordem	Data da Falha	Histórico Falhas [km]	Sistema Reparável	Subsistema
1	23-01-2000	12424	SCI	ATC3520M
2	03-01-2000	12434	CTC	CAI05
3	26-01-2000	12434	SCI	ATC3520M
4	30-01-2000	12434	SCI	ATC3520M
5	23-07-2000	75119	ROS	MTA04
6	25-08-2000	92630	PTE	PAN08
7	01-01-2001	162444	CTC	CAI05
8	01-01-2001	162444	CTC	CAI05
9	25-05-2001	201013	PTE	CVE14
10	18-06-2002	305732	ROS	BOG62
11	26-08-2002	321972	SCI	ATC3520M
12	28-07-2003	417644	SCI	ATC3520M
13	01-04-2005	610494	PAF	FRP3520M
14	17-10-2006	833585	AUX	CIB3520M
15	28-12-2006	852980	CTC	CAI05
16	06-10-2007	967474	PTE	CVE14
17	20-05-2008	1031962	PTE	CVE14
18	22-10-2008	1095421	SCI	ATC3520M

Na figura 4.4, representam-se graficamente os valores apresentados na tabela 4.3, sendo que no eixo das abcissas está enumerado o histórico das falhas, e por sua vez, no eixo das ordenadas a ordem numérica de cada uma das respectivas falhas. Decidiu-se representar este gráfico, porque de uma forma grosseira podem-se retirar as primeiras conclusões sobre qual o comportamento deste histórico, que compõe a automotora 3520. Assim, grosseiramente, se for possível ajustar uma recta ao conjunto de pontos enumerados, a tendência será a de se estar perante um Processo de Poisson Homogéneo, PPH.

Levando apenas em linha de consideração o gráfico apresentado na figura 4.4, poder-se-á estimar que a taxa de falhas seguirá muito provavelmente uma taxa de falhas decrescente. Porque como se pode visualizar, não se consegue ajustar uma recta ao conjunto de pontos que constituem o histórico. De seguida, poder-se-á comprovar por intermédio dos cálculos realizados.

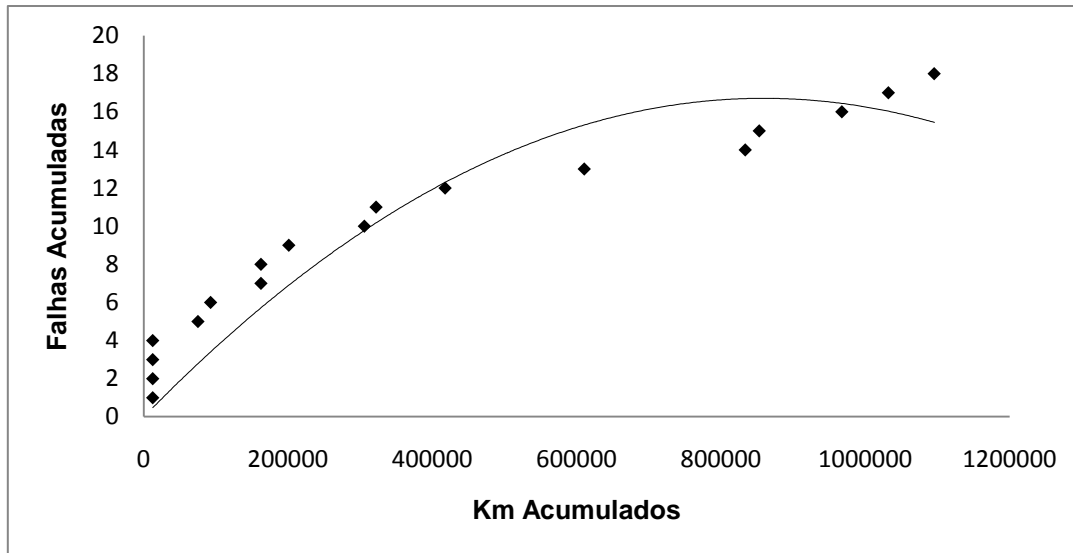


Figura 4.4 - Incidentes UQE3520 em função da quilometragem acumulada

De forma a comprovar as previsões que se fizeram atrás, ir-se-á apresentar os dados realizados para esta automotora. A expressão utilizada, pode ser encontrada no capítulo 2 deste estudo, com o número 2.1. Assim, a aplicação da referida fórmula será utilizada para as dezoito falhas e com um período de observação do teste de 1.300.000 quilómetros.

$$z_0 = \sqrt{12n_f} \left[\frac{\sum_{i=1}^{n_f} \tau_i}{n_f T} - 0,5 \right] = (\sqrt{12 \cdot 18}) \left[\frac{7180640}{18 \cdot 1300000} - 0,5 \right] = -2,838$$

Se for considerado um nível de significância de $\alpha = 0,10$, usualmente mais utilizado, tem-se que: $Z_{\alpha/2} = Z_{0,05} = 1,645$.

Uma vez que, $|Z_0| > Z_{\alpha/2}$, rejeita-se a hipótese nula, H_0 , permitindo desta forma garantir a veracidade da análise gráfica anteriormente apresentada. Deste modo, já se sabe que se está perante um Processo de Poisson Não Homogéneo (PPNH), em que o sistema apresenta uma taxa de falhas decrescente.

Neste género de sistemas, taxa de falhas decrescente, existe uma tendência para o aumento dos intervalos de tempo entre os incidentes. Deste modo, pode-se referir que esta automotora, tem aumentado a sua fiabilidade, o que na prática se poderá concluir que as manutenções a que tem sido sujeita têm estado a contribuir para a sua fiabilidade total do sistema que a compõe.

Utilizando o Modelo de Crow, parte-se para o cálculo da estimativa do MTBF para as falhas mais recentes, utilizando a expressão 2.4, obtendo-se os coeficientes β e $\hat{\lambda}$ de acordo com as expressões 2.5 e 2.6.

$$\hat{\beta} = \frac{n_f}{\sum_{i=1}^{n_f} \ln \frac{T}{\tau_i}} = \frac{18}{\sum_{i=1}^{18} \ln \frac{1300000}{\tau_i}} = 0,4943$$

$$\hat{\lambda} = \frac{n_f}{T^{\hat{\beta}}} = 0,0171$$

Assim, a estimativa da taxa de falhas será:

$$\rho = \hat{\lambda} \beta \tau^{(\beta-1)} = 6,84 \times 10^{-6}$$

Logo, o valor estimado para o MTBF referente à automotora UQE-3520 será dado através da expressão 2.7, e tem o valor de:

$$\theta = \frac{1}{\hat{\lambda} \beta \tau^{(\beta-1)}} = \frac{1}{\rho} = 146114 \text{ km}$$

Este modelo permite ainda definir também intervalos de confiança para a estimativa calculada do MTBF. De acordo com as expressões 2.8 e 2.9, para os quilómetros percorridos neste sistema em estudo, considerando o número de falhas ocorridas, para um nível de significância de 10% ($\alpha = 10\%$), ter-se-á:

$$\text{Limite inferior: } \theta_i = \theta \pi_1 = 146114 \cdot 0,575 = 84016 \text{ km}$$

$$\text{Limite superior: } \theta_s = \theta \pi_2 = 146114 \cdot 1,933 = 282439 \text{ km}$$

Depois de se observarem estes dados, pode-se concluir que o intervalo de confiança definido após a estimação do MTBF, e uma vez que se está perante uma taxa de falhas decrescente, significa que ao longo do período do estudo os intervalos de tempo entre falhas apresentam tendência para aumentar. Este factor, poderá ser entendido como um óptimo factor para a optimização do PMP. Pois, mantendo-se as condições de funcionamento do sistema, as imobilizações para efeitos de manutenção ao equipamento poderá ser aumentado, contribuindo neste caso num maior tempo de disponibilidade em serviço e menor transtorno aos seus utilizadores por imobilizações durante a prestação do serviço.

Já com o objectivo de se introduzir e perspectivar a segunda parte deste estudo, apresentar-se a figura 4.5, onde se pode apontar qual o sistema reparável que mais contribui para as paragens em serviço que ocorreram nesta automotora.

Tabela 4.4 - Número de falhas ocorridas por SR – UQE3520

Sistema Reparável	Frequência Absoluta	Frequência Relativa	Frequência Relativa Acumulada
SCI	6	0,33	0,33
CTC	4	0,22	0,56
PTE	4	0,22	0,78
ROS	2	0,11	0,89
AUX	1	0,06	0,94
PAF	1	0,06	1,00
COM	0	0,00	1,00
CLM	0	0,00	1,00
INP	0	0,00	1,00

E o gráfico correspondente:

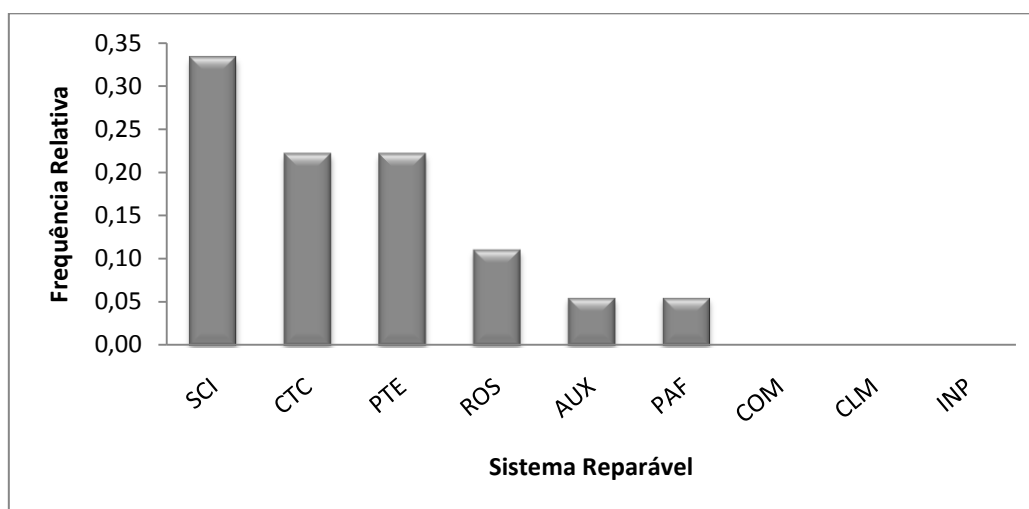


Figura 4.5 - Causas de paragem em função do Sistema Reparável (UQE3520)

Como se pode ver na figura acima, no caso desta automotora o sistema reparável que maior contribui para a sua imobilização em linha, foi o que relaciona com a Segurança em Circulação, com 33% dos incidentes totais. No entanto, também se pode concluir que os sistemas reparáveis Caixa Tracção e Choque e Potência Eléctrica não ficaram isentos de responsabilidade, ocupando as duas posições que se seguem.

4.3.3. Automotora UQE – 3521

Na tabela 4.5 que se segue, apresenta-se por ordem cronológica os quilómetros que a automotora apresentava no momento de cada um dos incidentes. Assim, na tabela

referida, estão representados os quilómetros acumulados aquando da falha, bem como o seu sistema reparável e subsistema respectivo.

Tabela 4.5 – Quilómetros acumulados por falha ocorrida na UQE3521

Ordem	Data da Falha	Histórico Falhas [km]	Sistema Reparável	Subsistema
1	21-06-2000	52180	PTE	CVE14
2	09-06-2000	52180	COM	Agate Control
3	07-06-2000	52180	SCI	ATC3521M
4	07-06-2000	52180	SCI	ATC3521M
5	29-07-2000	53650	PTE	DJP07
6	26-07-2000	53650	SCI	ATC3521M
7	20-05-2001	167795	AUX	CIB3521M
8	28-07-2001	173196	SCI	ATC3521M
9	03-09-2001	187687	PTE	CVE14
10	04-01-2002	215767	SCI	ATC3521M
11	06-05-2002	252424	PTE	TRP10
12	17-07-2002	273594	PAF	GCP12
13	22-10-2002	294891	PAF	FRP3521M
14	03-12-2002	312736	CTC	CAI05
15	28-05-2004	465442	PTE	PAN08
16	26-07-2004	483783	SCI	ATC3521M
17	27-07-2004	483783	SCI	ATC3521M
18	23-11-2004	508852	PAF	GCP12
19	16-08-2005	597668	SCI	ATC3521M
20	16-08-2005	597668	SCI	ATC3521M
21	17-08-2005	597668	SCI	ATC3521M
22	17-08-2005	597668	SCI	ATC3521M
23	05-01-2006	650407	PTE	DJP07
24	24-03-2006	669790	PTE	PAN08
25	01-04-2007	1043167	SCI	ATC3521M
26	15-09-2008	1222402	SCI	ATC3521M

Na figura 4.6, representam-se graficamente os valores apresentados na tabela 4.5, sendo que no eixo das abcissas está enumerado o histórico das falhas, e por sua vez, no eixo das ordenadas a ordem numérica de cada uma das respectivas falhas. Decidiu-se representar este gráfico, porque de uma forma grosseira podem-se retirar as primeiras conclusões sobre qual o comportamento deste histórico, que compõe a automotora 3521. Assim, grosseiramente, se for possível ajustar uma recta ao conjunto de pontos enumerados, a tendência será a de se estar perante um Processo de Poisson Homogéneo, PPH.

Levando apenas em linha de consideração o gráfico apresentado na figura 4.6, poder-se-á estimar que a taxa de falhas seguirá muito provavelmente uma taxa de falhas decrescente. Porque como se pode visualizar, não se consegue ajustar uma recta ao

conjunto de pontos que constituem o histórico. De seguida, poder-se-á comprovar por intermédio dos cálculos realizados.

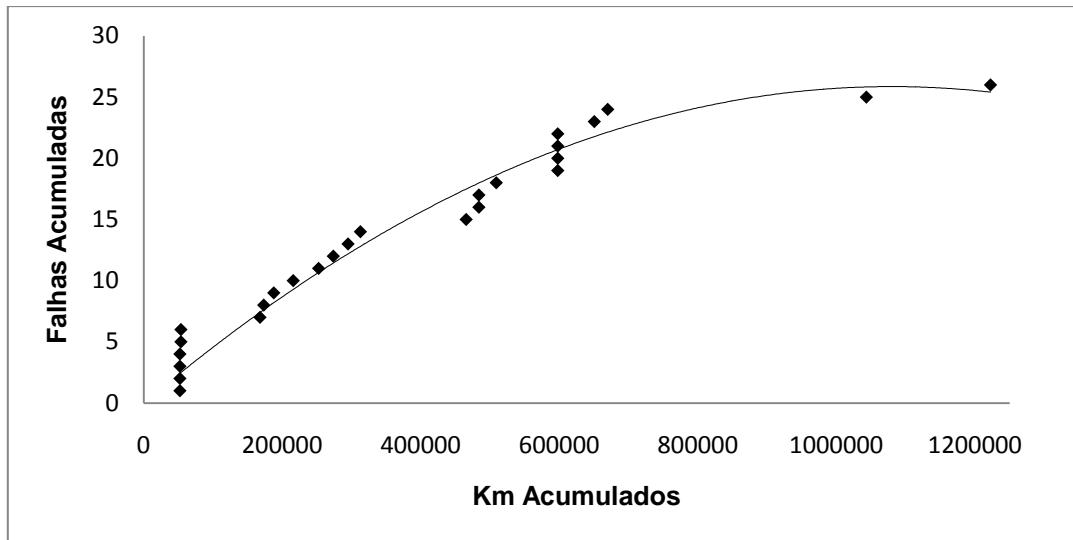


Figura 4.6 – Incidentes UQE3521 em função da quilometragem acumulada

De forma a comprovar as previsões que se fizeram atrás, ir-se-á apresentar os dados realizados para esta automotora. A expressão utilizada, pode ser encontrada no capítulo 2 deste estudo, com o número 2.1. Assim, a aplicação da referida fórmula será utilizada para as vinte e seis falhas e com um período de observação do teste de 1.300.000 quilómetros.

$$z_0 = \sqrt{12n_f} \left[\frac{\sum_{i=1}^{n_f} \tau_i}{n_f T} - 0,5 \right] = (\sqrt{12 \cdot 26}) \left[\frac{10112408}{26 \cdot 1300000} - 0,5 \right] = -3,547$$

Se for considerado um nível de significância de $\alpha = 0,10$, usualmente mais utilizado, tem-se que: $Z_{\alpha/2} = Z_{0,05} = 1,645$.

Uma vez que, $|Z_0| > Z_{\alpha/2}$, rejeita-se a hipótese nula, H_0 , permitindo desta forma garantir a veracidade da análise gráfica anteriormente apresentada. Deste modo, já se sabe que se está perante um Processo de Poisson Não Homogéneo (PPNH), em que o sistema apresenta uma taxa de falhas decrescente.

Neste género de sistemas, taxa de falhas decrescente, existe uma tendência para o aumento dos intervalos de tempo entre os incidentes. Deste modo, pode-se referir que esta automotora, tem aumentado a sua fiabilidade, o que na prática se poderá concluir

que as manutenções a que tem sido sujeita têm estado a contribuir para a sua fiabilidade total do sistema que a compõe.

Utilizando o Modelo de Crow, parte-se para o cálculo da estimativa do MTBF para as falhas mais recentes, utilizando a expressão 2.4, obtendo-se os coeficientes β e $\hat{\lambda}$ de acordo com as expressões 2.5 e 2.6.

$$\hat{\beta} = \frac{n_f}{\sum_{i=1}^{n_f} \ln \frac{T}{\tau_i}} = \frac{26}{\sum_{i=1}^{26} \ln \frac{1300000}{\tau_i}} = 0,6216$$

$$\hat{\lambda} = \frac{n_f}{T\hat{\beta}} = 0,0041$$

Assim, a estimativa da taxa de falhas será:

$$\rho = \hat{\lambda}\beta\tau^{(\beta-1)} = 1,24 \times 10^{-5}$$

Logo, o valor estimado para o MTBF referente à automotora UQE-3521 será dado através da expressão 2.7, e tem o valor de:

$$\theta = \frac{1}{\hat{\lambda}\beta\tau^{(\beta-1)}} = \frac{1}{\rho} = 80432 \text{ km}$$

Este modelo permite ainda definir também intervalos de confiança para a estimativa calculada do MTBF. De acordo com as expressões 2.8 e 2.9, para os quilómetros percorridos neste sistema em estudo, considerando o número de falhas ocorridas, para um nível de significância de 10% ($\alpha = 10\%$), ter-se-á:

$$\text{Limite inferior: } \theta_i = \theta\pi_1 = 80432 \cdot 0,631 = 50753 \text{ km}$$

$$\text{Limite superior: } \theta_s = \theta\pi_2 = 80432 \cdot 1,701 = 136815 \text{ km}$$

Depois de se observarem estes dados, pode-se concluir que o intervalo de confiança definido após a estimação do MTBF, e uma vez que se está perante uma taxa de falhas decrescente, significa que ao longo do período do estudo os intervalos de tempo entre falhas apresentam tendência para aumentar. Este factor, poderá ser entendido como um óptimo factor para a optimização do PMP. Pois, mantendo-se as condições de funcionamento do sistema, as imobilizações para efeitos de manutenção ao equipamento poderá ser aumentado, contribuindo neste caso num maior tempo de disponibilidade em

serviço e menor transtorno aos seus utilizadores por imobilizações durante a prestação do serviço.

Já com o objectivo de se introduzir e perspectivar a segunda parte deste estudo, apresentar-se a figura 4.7, onde se pode apontar qual o sistema reparável que mais contribui para as paragens em serviço que ocorreram nesta automotora.

Tabela 4.6 – Número de falhas ocorridas por SR – UQE3521

Sistema Reparável	Frequência Absoluta	Frequência Relativa	Frequência Relativa Acumulada
SCI	13	0,50	0,50
PTE	7	0,27	0,77
PAF	3	0,12	0,88
CTC	1	0,04	0,92
AUX	1	0,04	0,96
COM	1	0,04	1,00
ROS	0	0,00	1,00
CLM	0	0,00	1,00
INP	0	0,00	1,00

E o gráfico correspondente:

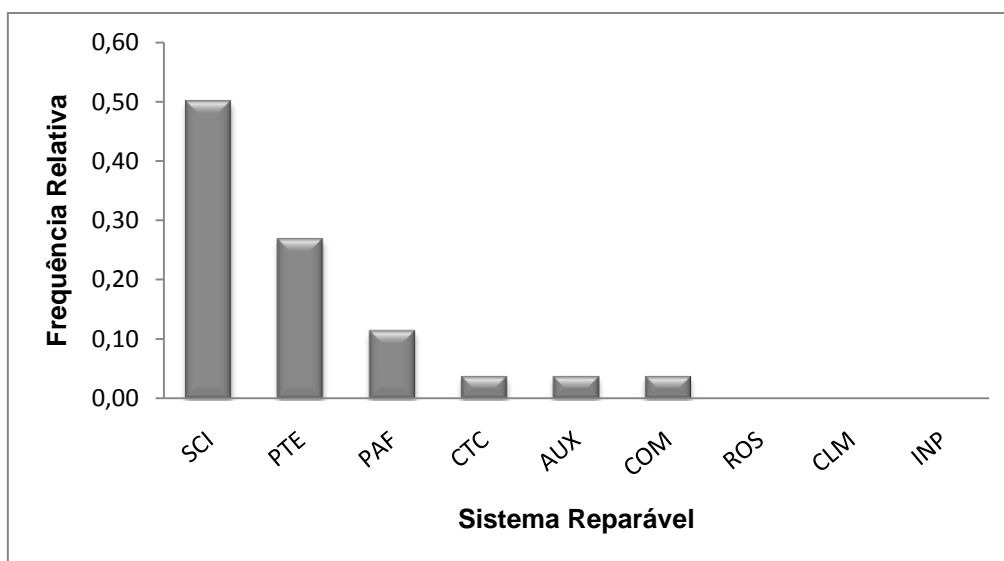


Figura 4.7 - Causas de paragem em função do Sistema Reparável (UQE3521)

Esta automotora é um daqueles casos em que não existe margem para dúvida, relativamente a esta questão de causas de paragem em função do SR estudado. Como se pode observar, o SR responsável por metade dos incidentes é o SCI, sendo que o que aparece em segundo lugar é a potência eléctrica. Este sistema reparável, como se poderá ver mais a frente neste estudo, irá revelar-se bastante interessante.

4.3.4. Automotora UQE – 3522

Na tabela 4.7 que se segue, apresenta-se por ordem cronológica os quilómetros que a automotora apresentava no momento de cada um dos incidentes. Assim, na tabela referida, estão representados os quilómetros acumulados aquando da falha, bem como o seu sistema reparável e subsistema respectivo.

Tabela 4.7 - Quilómetros acumulados por falha ocorrida na UQE3522

Ordem	Data da Falha	Histórico Falhas [km]	Sistema Reparável	Subsistema
1	03-01-2000	11755	AUX	GCA10
2	11-07-2000	85399	CTC	CAI05
3	20-07-2000	85399	CTC	CAI05
4	08-07-2000	85399	PAF	FRP3522M
5	14-08-2000	88924	PTE	DJP07
6	23-01-2003	347035	PAF	FRP3522M
7	19-05-2003	377226	PTE	CVE14
8	15-09-2004	526033	SCI	ATC3522M
9	22-11-2004	541773	CTC	CAI05
10	06-06-2005	603091	PAF	GCP12
11	20-10-2005	645532	COM	Agate Control
12	31-12-2005	672426	AUX	GCA10
13	17-02-2006	687289	SCI	ATC3522M
14	19-03-2006	700200	SCI	ATC3522M
15	02-06-2006	731852	SCI	ATC3522M
16	08-10-2007	823905	PAF	FRP3522M
17	03-04-2008	896187	SCI	ATC3522M

Na figura 4.8, representam-se graficamente os valores apresentados na tabela 4.7, sendo que no eixo das abcissas está enumerado o histórico das falhas, e por sua vez, no eixo das ordenadas a ordem numérica de cada uma das respectivas falhas. Decidiu-se representar este gráfico, porque de uma forma grosseira podem-se retirar as primeiras conclusões sobre qual o comportamento deste histórico, que compõe a automotora 3522. Assim, grosseiramente, se for possível ajustar uma recta ao conjunto de pontos enumerados, a tendência será a de se estar perante um Processo de Poisson Homogéneo, PPH.

Levando apenas em linha de consideração o gráfico apresentado na figura 4.8, poder-se-á estimar que a taxa de falhas seguirá muito provavelmente uma taxa de falhas decrescente. Porque como se pode visualizar, não se consegue ajustar uma recta ao conjunto de pontos que constituem o histórico. De seguida, poder-se-á comprovar por intermédio dos cálculos realizados.

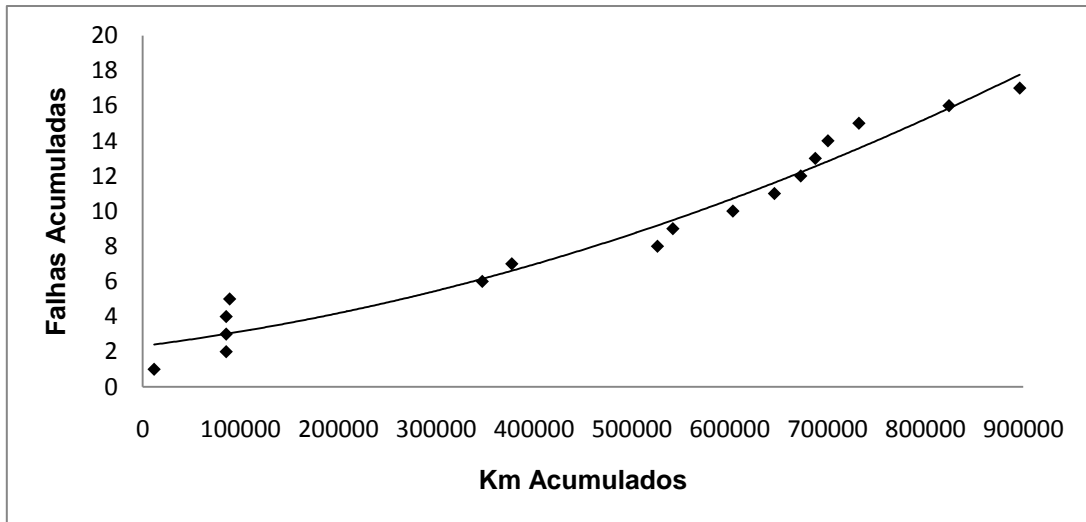


Figura 4.8 - Incidentes UQE3522 em função da quilometragem acumulada

De forma a comprovar as previsões que se fizeram atrás, ir-se-á apresentar os dados realizados para esta automotora. A expressão utilizada, pode ser encontrada no capítulo 2 deste estudo, com o número 2.1. Assim, a aplicação da referida fórmula será utilizada para as dezassete falhas e com um período de observação do teste de 1.300.000 quilómetros.

$$z_0 = \sqrt{12n_f} \left[\frac{\sum_{i=1}^{n_f} \tau_i}{n_f T} - 0,5 \right] = (\sqrt{12 \cdot 17}) \left[\frac{7909425}{17 \cdot 1300000} - 0,5 \right] = -2,030$$

Se for considerado um nível de significância de $\alpha = 0,10$, usualmente mais utilizado, tem-se que: $Z_{\alpha/2} = Z_{0,05} = 1,645$.

Uma vez que, $|Z_0| > Z_{\alpha/2}$, rejeita-se a hipótese nula, H_0 , permitindo desta forma garantir a veracidade da análise gráfica anteriormente apresentada. Deste modo, já se sabe que se está perante um Processo de Poisson Não Homogêneo (PPNH), em que o sistema apresenta uma taxa de falhas decrescente.

Neste género de sistemas, taxa de falhas decrescente, existe uma tendência para o aumento dos intervalos de tempo entre os incidentes. Deste modo, pode-se referir que esta automotora, tem aumentado a sua fiabilidade, o que na prática se poderá concluir que as manutenções a que tem sido sujeita têm estado a contribuir para a sua fiabilidade total do sistema que a compõe.

Utilizando o Modelo de Crow, parte-se para o cálculo da estimativa do MTBF para as falhas mais recentes, utilizando a expressão 2.4, obtendo-se os coeficientes β e $\hat{\lambda}$ de acordo com as expressões 2.5 e 2.6.

$$\hat{\beta} = \frac{n_f}{\sum_{i=1}^{n_f} \ln \frac{T}{\tau_i}} = \frac{17}{\sum_{i=1}^{17} \ln \frac{1300000}{\tau_i}} = 0,6888$$

$$\hat{\lambda} = \frac{n_f}{T\hat{\beta}} = 0,0010$$

Assim, a estimativa da taxa de falhas será:

$$\rho = \hat{\lambda}\beta\tau^{(\beta-1)} = 9,01 \times 10^{-6}$$

Logo, o valor estimado para o MTBF referente à automotora UQE-3522 será dado através da expressão 2.7, e tem o valor de:

$$\theta = \frac{1}{\hat{\lambda}\beta\tau^{(\beta-1)}} = \frac{1}{\rho} = 111020 \text{ km}$$

Este modelo permite ainda definir também intervalos de confiança para a estimativa calculada do MTBF. De acordo com as expressões 2.8 e 2.9, para os quilómetros percorridos neste sistema em estudo, considerando o número de falhas ocorridas, para um nível de significância de 10% ($\alpha = 10\%$), ter-se-á:

$$\text{Limite inferior: } \theta_i = \theta\pi_1 = 111020 \cdot 0,565 = 62726 \text{ km}$$

$$\text{Limite superior: } \theta_s = \theta\pi_2 = 111020 \cdot 1,978 = 219597 \text{ km}$$

Depois de se observarem estes dados, pode-se concluir que o intervalo de confiança definido após a estimação do MTBF, e uma vez que se está perante uma taxa de falhas decrescente, significa que ao longo do período do estudo os intervalos de tempo entre falhas apresentam tendência para aumentar. Este factor, poderá ser entendido como um óptimo factor para a optimização do PMP. Pois, mantendo-se as condições de funcionamento do sistema, as imobilizações para efeitos de manutenção ao equipamento poderá ser aumentado, contribuindo neste caso num maior tempo de disponibilidade em serviço e menor transtorno aos seus utilizadores por imobilizações durante a prestação do serviço.

Já com o objectivo de se introduzir e perspectivar a segunda parte deste estudo, apresentar-se a figura 4.9, onde se pode apontar qual o sistema reparável que mais contribui para as paragens em serviço que ocorreram nesta automotora.

Tabela 4.8 - Número de falhas ocorridas por SR – UQE3522

Sistema Reparável	Frequência Absoluta	Frequência Relativa	Frequência Relativa Acumulada
SCI	5	0,29	0,29
PAF	4	0,24	0,53
CTC	3	0,18	0,71
PTE	2	0,12	0,82
AUX	2	0,12	0,94
COM	1	0,06	1,00
ROS	0	0,00	1,00
CLM	0	0,00	1,00
INP	0	0,00	1,00

E o gráfico correspondente:

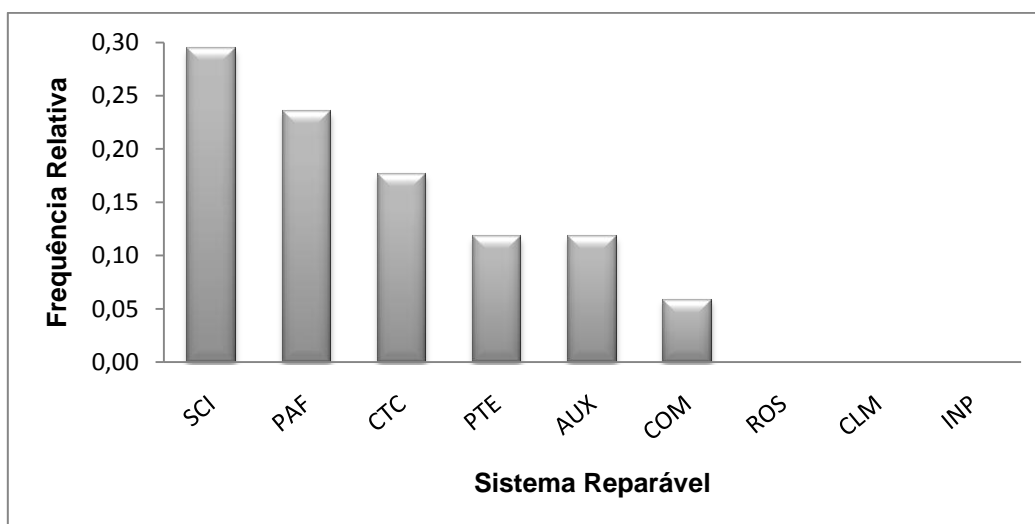


Figura 4.9 - Causas de paragem em função do Sistema Reparável (UQE3522)

Mais uma vez, e em concordância com o que acontece com a automotora 3521, nesta é o sistema reparável responsável pela segurança na circulação o responsável pela maior parte das paragens em serviço durante a exploração. No entanto, neste caso a discrepância se apontou na UQE3521 não é tão vincada. Logo, neste caso concreto pode-se concluir à partida que ocorreram bastantes incidentes e estes apresentam-se mais homogeneizados. Para efeitos de manutenção e da sua aplicação, não será possível apontar a principal origem das falhas.

4.3.5. Automotora UQE – 3523

Na tabela 4.9 que se segue, apresenta-se por ordem cronológica os quilómetros que a automotora apresentava no momento de cada um dos incidentes. Assim, na tabela referida, estão representados os quilómetros acumulados aquando da falha, bem como o seu sistema reparável e subsistema respectivo.

Tabela 4.9 - Quilómetros acumulados por falha ocorrida na UQE3523

Ordem	Data da Falha	Histórico Falhas [km]	Sistema Reparável	Subsistema
1	13-09-2000	111953	PAF	FRD3523M
2	06-02-2001	160462	PAF	FRP3523M
3	05-09-2001	221467	PTE	DJP07
4	04-08-2003	425186	PAF	FRP3523M
5	08-06-2005	627157	ROS	MTA04
6	03-04-2006	743728	COM	equip. comutação
7	23-11-2006	827304	PTE	DJP07
8	17-08-2007	918050	PAF	GCP12
9	26-11-2007	956977	SCI	ATC3523M

Na figura 4.10, representam-se graficamente os valores apresentados na tabela 4.9, sendo que no eixo das abcissas está enumerado o histórico das falhas, e por sua vez, no eixo das ordenadas a ordem numérica de cada uma das respectivas falhas. Decidiu-se representar este gráfico, porque de uma forma grosseira podem-se retirar as primeiras conclusões sobre qual o comportamento deste histórico, que compõe a automotora 3523. Assim, grosseiramente, se for possível ajustar uma recta ao conjunto de pontos enumerados, a tendência será a de se estar perante um Processo de Poisson Homogéneo, PPH.

Levando apenas em linha de consideração o gráfico apresentado na figura 4.10, poder-se-á estimar que a taxa de falhas seguirá muito provavelmente uma taxa de falhas constante. Visualizando-se então a figura seguinte, pode-se ver que se consegue ajustar uma recta ao conjunto de pontos que constituem o histórico, embora com alguma imprecisão. De seguida, poder-se-á comprovar por intermédio dos cálculos realizados esta previsão gráfica.

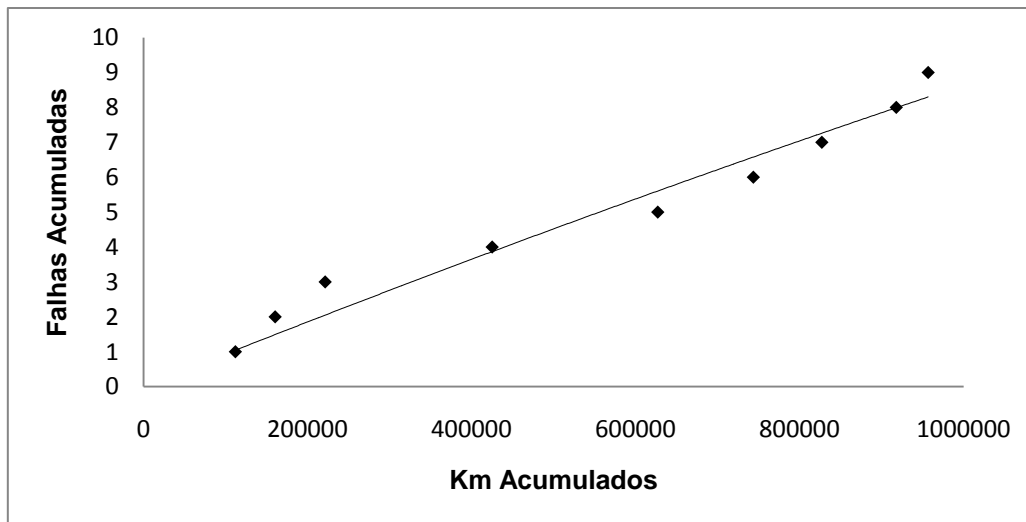


Figura 4.10 - Incidentes UQE3523 em função da quilometragem acumulada

De forma a comprovar as previsões que se fizeram atrás, ir-se-á apresentar os dados realizados para esta automotora. A expressão utilizada, pode ser encontrada no capítulo 2 deste estudo, com o número 2.1. Assim, a aplicação da referida fórmula será utilizada para as nove falhas e com um período de observação do teste de 1.300.000 quilómetros.

$$z_0 = \sqrt{12n_f} \left[\frac{\sum_{i=1}^{n_f} \tau_i}{n_f T} - 0,5 \right] = (\sqrt{12 \cdot 9}) \left[\frac{4992284}{9 \cdot 1300000} - 0,5 \right] = -0,762$$

Se for considerado um nível de significância de $\alpha = 0,10$, usualmente mais utilizado, tem-se que: $Z_{\alpha/2} = Z_{0,05} = 1,645$.

Uma vez que, $|Z_0| < Z_{\alpha/2}$, aceita-se a hipótese nula, H_0 , permitindo desta forma garantir a veracidade da análise gráfica anteriormente apresentada. Deste modo, já se sabe que se está perante um Processo de Poisson Homogéneo (PPH), em que o sistema apresenta uma taxa de falhas constante.

Depois de se confirmar que se está perante um PPH, com taxa de falhas constante mediante a utilização do teste de Laplace, poder-se-á avançar directamente para o cálculo da sua fiabilidade. Pois, neste tipo de casos, não será necessário a utilização do modelo de Crow como foi visto anteriormente.

Assim, através da aplicação das expressões 2.13 e 2.14, chegou-se aos resultados que de seguida se apresentam.

$$MTBF = \frac{T}{n_f} = \frac{1300000}{9} = 144444 \text{ Km}$$

$$\text{Mínimo garantido de MTBF} = \theta_i = \frac{2 \times T}{\chi_{\alpha,2(n_f+1)}^2} = 91511 \text{ Km}$$

Assim, observando os resultados pode-se desde já adiantar que a automotora em questão apresentou um tempo médio entre falhas de cerca 144 mil quilómetros, sendo que o seu MTBF mínimo foi de cerca 91500 quilómetros, para um nível de significância de 10%.

Em termos práticos, e de acordo com Leitão (1989), o facto de o sistema ter um comportamento de taxa de falhas constante, não quer dizer que os componentes que o compõem apresentem uma função de risco constante. Um sistema com taxa de falhas constante não beneficia com a substituição preventiva de componentes. Em acordo com o autor referido, vem Dias (2002) referir que esta é uma questão primordial na manutenção, pois apenas os componentes com funções de risco crescentes deverão ser substituídos preventivamente.

Já com o objectivo de se introduzir e perspectivar a segunda parte deste estudo, apresentar-se a figura 4.11, onde se pode apontar qual o sistema reparável que mais contribui para as paragens em serviço que ocorreram nesta automotora.

Tabela 4.10 - Número de falhas ocorridas por SR – UQE3523

Sistema Reparável	Frequência Absoluta	Frequência Relativa	Frequência Relativa Acumulada
PAF	4	0,44	0,44
PTE	2	0,22	0,67
SCI	1	0,11	0,78
COM	1	0,11	0,89
ROS	1	0,11	1,00
CTC	0	0,00	1,00
AUX	0	0,00	1,00
CLM	0	0,00	1,00
INP	0	0,00	1,00

E o gráfico correspondente:

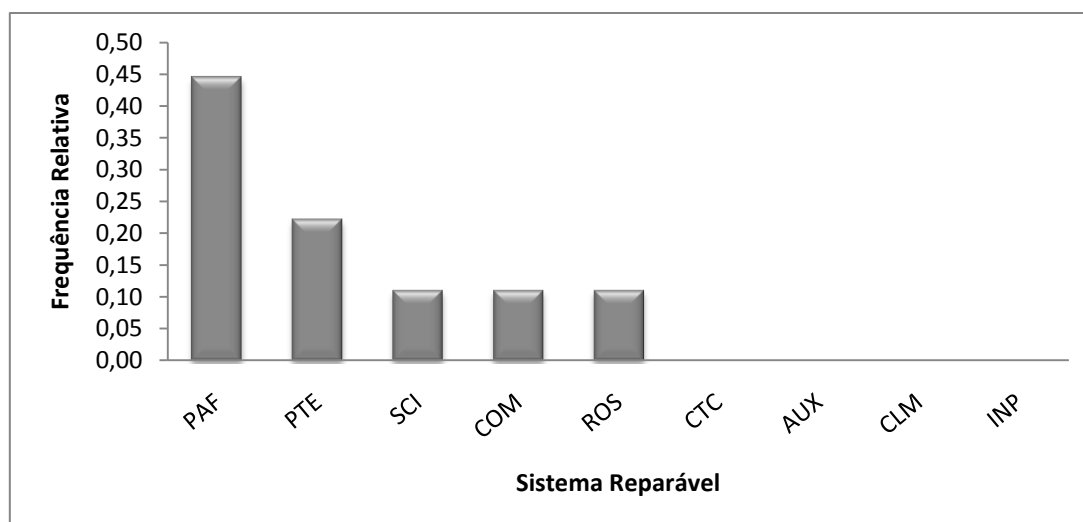


Figura 4.11 - Causas de paragem em função do Sistema Reparável (UQE3523)

Como se pode confirmar na figura acima ilustrada, e mais uma vez na mesma linha do que se concluiu para a automotora 3523, os dois SR responsáveis por cerca de 67% das falhas são o PAF e o PTE. Nesta situação em especial, há que atentar com maior pormenor no que concerne com a produção de ar e freio, uma vez que cerca de metade dos incidentes se ficaram a dever a este último.

4.3.6. Automotora UQE – 3524

Na tabela 4.11 que se segue, apresenta-se por ordem cronológica os quilómetros que a automotora apresentava no momento de cada um dos incidentes. Assim, na tabela referida, estão representados os quilómetros acumulados aquando da falha, bem como o seu sistema reparável e subsistema respectivo.

Tabela 4.11 - Quilómetros acumulados por falha ocorrida na UQE3524

Ordem	Data da Falha	Histórico Falhas [km]	Sistema Reparável	Subsistema
1	03-02-2000	22695	COM	FRP3524M
2	23-06-2000	70921	PTE	DJP07
3	18-10-2001	258775	PTE	CVE14
4	07-11-2001	266005	SCI	OutrosSC01
5	18-11-2004	563234	SCI	ATC3524M
6	01-04-2005	608963	PAF	GCP12
7	20-05-2005	618364	CLM	CLM3524M
8	06-06-2005	628284	PAF	GCP12
9	20-07-2005	638475	PTE	PAN08
10	16-06-2006	739113	SCI	ATC3524M
11	16-07-2007	900777	CTC	ENG11
12	26-06-2008	1043395	SCI	ATC3524M

Na figura 4.12, representam-se graficamente os valores apresentados na tabela 4.11, sendo que no eixo das abcissas está enumerado o histórico das falhas, e por sua vez, no eixo das ordenadas a ordem numérica de cada uma das respectivas falhas. Decidiu-se representar este gráfico, porque de uma forma grosseira podem-se retirar as primeiras conclusões sobre qual o comportamento deste histórico, que compõe a automotora 3524. Assim, grosseiramente, se for possível ajustar uma recta ao conjunto de pontos enumerados, a tendência será a de se estar perante um Processo de Poisson Homogêneo, PPH.

Levando apenas em linha de consideração o gráfico apresentado na figura 4.12, poder-se-á estimar que a taxa de falhas seguirá muito provavelmente uma taxa de falhas constante. Visualizando-se então a figura seguinte, pode-se ver que se consegue ajustar uma recta ao conjunto de pontos que constituem o histórico, embora com alguma imprecisão. De seguida, poder-se-á comprovar por intermédio dos cálculos realizados esta previsão gráfica.

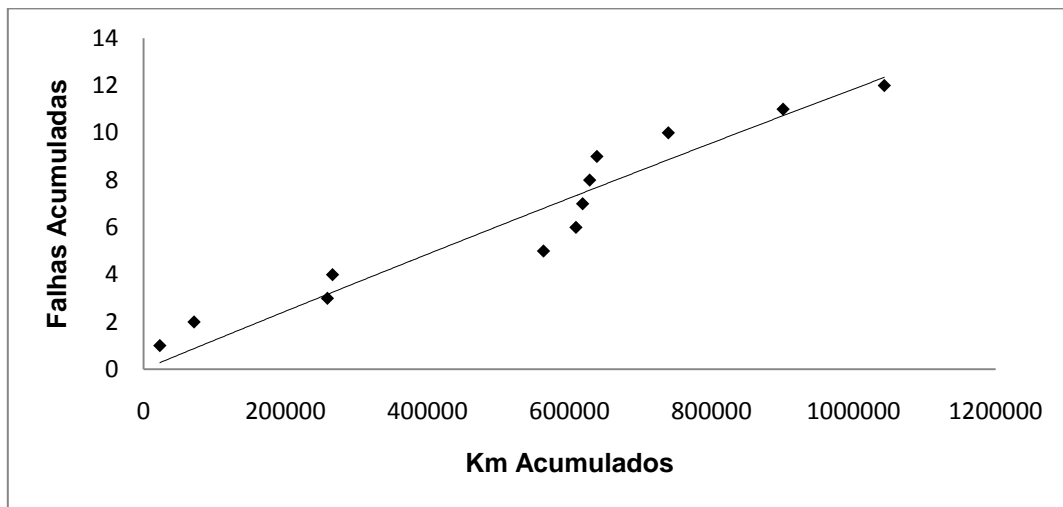


Figura 4.12 - Incidentes UQE3524 em função da quilometragem acumulada

De forma a comprovar as previsões que se fizeram atrás, ir-se-á apresentar os dados realizados para esta automotora. A expressão utilizada, pode ser encontrada no capítulo 2 deste estudo, com o número 2.1. Assim, a aplicação da referida fórmula será utilizada para as doze falhas e com um período de observação do teste de 1.300.000 quilómetros.

$$z_0 = \sqrt{12n_f} \left[\frac{\sum_{i=1}^{n_f} \tau_i}{n_f T} - 0,5 \right] = (\sqrt{12 \cdot 12}) \left[\frac{6359001}{12 \cdot 1300000} - 0,5 \right] = -1,108$$

Se for considerado um nível de significância de $\alpha = 0,10$, usualmente mais utilizado, tem-se que: $Z_{\alpha/2} = Z_{0,05} = 1,645$.

Uma vez que, $|Z_0| < Z_{\alpha/2}$, aceita-se a hipótese nula, H_0 , permitindo desta forma garantir a veracidade da análise gráfica anteriormente apresentada. Deste modo, já se sabe que se está perante um Processo de Poisson Homogéneo (PPH), em que o sistema apresenta uma taxa de falhas constante.

Depois de se confirmar que se está perante um PPH, com taxa de falhas constante mediante a utilização do teste de Laplace, poder-se-á avançar directamente para o cálculo da sua fiabilidade. Pois, neste tipo de casos, não será necessário a utilização do modelo de Crow como foi visto anteriormente.

Assim, através da aplicação das expressões 2.13 e 2.14, chegou-se aos resultados que de seguida se apresentam.

$$MTBF = \frac{T}{n_f} = \frac{1300000}{12} = 108333 \text{ Km}$$

$$\text{Mínimo garantido de MTBF} = \theta_i = \frac{2 \times T}{\chi_{\alpha,2(n_f+1)}^2} = 73109 \text{ Km}$$

Assim, observando os resultados pode-se desde já adiantar que a automotora em questão apresentou um tempo médio entre falhas de cerca 108 mil quilómetros, sendo que o seu MTBF mínimo foi de cerca 73000 quilómetros, para um nível de significância de 10%.

Já com o objectivo de se introduzir e perspectivar a segunda parte deste estudo, apresentar-se a figura 4.13, onde se pode apontar qual o sistema reparável que mais contribui para as paragens em serviço que ocorreram nesta automotora.

Tabela 4.12 - Número de falhas ocorridas por SR – UQE3524

Sistema Reparável	Frequência Absoluta	Frequência Relativa	Frequência Relativa Acumulada
SCI	4	0,33	0,33
PTE	3	0,25	0,58
PAF	2	0,17	0,75
CTC	1	0,08	0,83
COM	1	0,08	0,92
CLM	1	0,08	1,00
AUX	0	0,00	1,00
ROS	0	0,00	1,00
INP	0	0,00	1,00

E o gráfico correspondente:

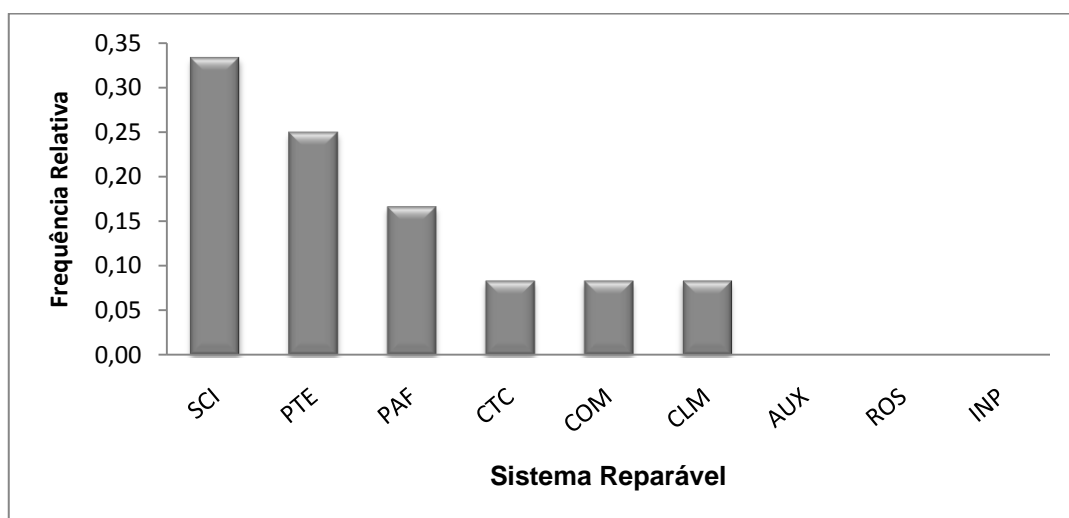


Figura 4.13 - Causas de paragem em função do Sistema Reparável (UQE3524)

Como se pode confirmar na figura acima ilustrada, e mais uma vez na mesma linha do que se tem vindo a concluir, aparece em destaque o SR responsável pela segurança na circulação. No entanto, neste caso particular ganha destaque os mesmos SR dos apresentados na automotora 3523. Refere-se aos SR potência eléctrica e produção de ar e freio.

4.3.7. Automotora UQE – 3525

Na tabela 4.13 que se segue, apresenta-se por ordem cronológica os quilómetros que a automotora apresentava no momento de cada um dos incidentes. Assim, na tabela referida, estão representados os quilómetros acumulados aquando da falha, bem como o seu sistema reparável e subsistema respectivo.

Tabela 4.13 - Quilómetros acumulados por falha ocorrida na UQE3525

Ordem	Data da Falha	Histórico Falhas [km]	Sistema Reparável	Subsistema
1	15-06-2000	67136	PAF	DTB35
2	10-03-2001	171944	PAF	FRP3525M
3	30-07-2001	212177	PTE	CVE14
4	15-03-2002	280544	PAF	FRP3525M
5	03-06-2003	416324	PAF	SEC04
6	06-02-2004	489180	PAF	FRP3525M
7	20-04-2006	725410	INP	INP3525M
8	30-01-2009	1133427	PAF	GCP12

Na figura 4.14, representam-se graficamente os valores apresentados na tabela 4.13, sendo que no eixo das abcissas está enumerado o histórico das falhas, e por sua vez, no eixo das ordenadas a ordem numérica de cada uma das respectivas falhas. Decidiu-se representar este gráfico, porque de uma forma grosseira podem-se retirar as primeiras conclusões sobre qual o comportamento deste histórico, que compõe a automotora 3525. Assim, grosseiramente, se for possível ajustar uma recta ao conjunto de pontos enumerados, a tendência será a de se estar perante um Processo de Poisson Homogêneo, PPH.

Ao contrário do que tem vindo a acontecer durante este estudo, pensa-se que se está perante uma das situações onde apenas a observação gráfica não chegaria para avançar para a tomada de uma boa decisão. Assim, atentando-se na figura que se segue, ao primeiro impulso dir-se-ia que não se está perante um PPH. No entanto, como se poderá verificar de seguida através da aplicação matemática do teste de Laplace, chegar-se-á à conclusão de que apenas a observação gráfica não é suficiente.

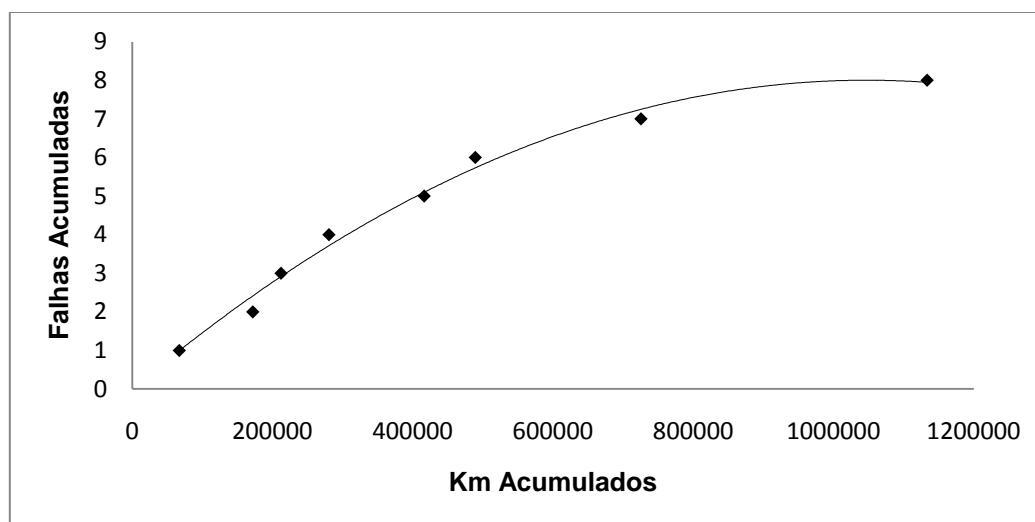


Figura 4.14 - Incidentes UQE3525 em função da quilometragem acumulada

Assim, da aplicação da equação 2.1 presente no capítulo 2 deste estudo, comprovar-se-á que se está mesmo perante um processo de poisson homogéneo, com taxa de falhas constante. Neste caso têm-se oito falhas durante o período de observação do teste de 1.300.000 quilómetros.

$$z_0 = \sqrt{12n_f} \left[\frac{\sum_{i=1}^{n_f} \tau_i}{n_f T} - 0,5 \right] = (\sqrt{12 \cdot 8}) \left[\frac{3496142}{8 \cdot 1300000} - 0,5 \right] = -1,605$$

Se for considerado um nível de significância de $\alpha = 0,10$, usualmente mais utilizado, tem-se que: $Z_{\alpha/2} = Z_{0,05} = 1,645$.

Uma vez que, $|Z_0| < Z_{\alpha/2}$, aceita-se a hipótese nula, H_0 , permitindo desta forma garantir a veracidade da análise gráfica anteriormente apresentada. Deste modo, já se sabe que se está perante um Processo de Poisson Homogéneo (PPH), em que o sistema apresenta uma taxa de falhas constante.

Depois de se confirmar que se está perante um PPH, com taxa de falhas constante mediante a utilização do teste de Laplace, poder-se-á avançar directamente para o cálculo da sua fiabilidade. Pois, neste tipo de casos, não será necessário a utilização do modelo de Crow como foi visto anteriormente.

Assim, através da aplicação das expressões 2.13 e 2.14, chegou-se aos resultados que de seguida se apresentam.

$$MTBF = \frac{T}{n_f} = \frac{1300000}{8} = 162500 \text{ Km}$$

$$\text{Mínimo garantido de MTBF} = \theta_i = \frac{2 \times T}{\chi_{\alpha,2(n_f+1)}^2} = 100041 \text{ Km}$$

Assim, observando os resultados pode-se desde já adiantar que a automotora em questão apresentou um tempo médio entre falhas de cerca 162 mil quilómetros, sendo que o seu MTBF mínimo foi de cerca 100 mil quilómetros, para um nível de significância de 10%.

Já com o objectivo de se introduzir e perspectivar a segunda parte deste estudo, apresentar-se a figura 4.15, onde se pode apontar qual o sistema reparável que mais contribui para as paragens em serviço que ocorreram nesta automotora.

Tabela 4.14 - Número de falhas ocorridas por SR – UQE3525

Sistema Reparável	Frequência Absoluta	Frequência Relativa	Frequência Relativa Acumulada
PAF	6	0,75	0,75
PTE	1	0,13	0,88
INP	1	0,13	1,00
SCI	0	0,00	1,00
CTC	0	0,00	1,00
COM	0	0,00	1,00
CLM	0	0,00	1,00
AUX	0	0,00	1,00
ROS	0	0,00	1,00

E o gráfico correspondente:

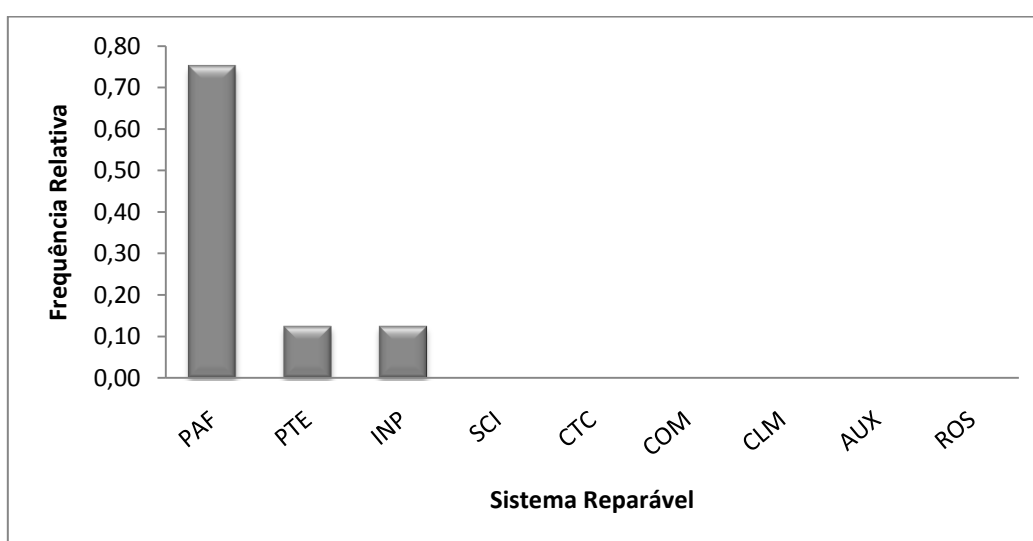


Figura 4.15 - Causas de paragem em função do Sistema Reparável (UQE3525)

Esta automotora será muito provavelmente uma das situações que se teve em mãos onde não irão subsistir dúvidas. Isto porque, se se atentar ao valor de 75% de “responsabilidade” pertencente ao sistema reparável de produção de ar e freio. Todas as outras falhas que aconteceram, mediante este valor serão imediatamente desprezadas.

Outra questão que se pensa ser importante referir neste caso particular, será o facto de, porventura, se terem obtido valores de MTBF e de Mínimo Garantido de MTBF um pouco elevados, em comparação directa com os restantes resultados. Uma das razões para que tal aconteça, poderá passar pelo facto de apenas se terem apurado um total de 8 falhas. Esse factor aliado às semelhanças gráficas com os processos com taxa de falhas decrescentes, poderá explicar os resultados menos conclusivos no que concerne com a automotora 3525.

4.3.8. Automotora UQE – 3526

Na tabela 4.15 que se segue, apresenta-se por ordem cronológica os quilómetros que a automotora apresentava no momento de cada um dos incidentes. Assim, na tabela referida, estão representados os quilómetros acumulados aquando da falha, bem como o seu sistema reparável e subsistema respectivo.

Tabela 4.15 - Quilómetros acumulados por falha ocorrida na UQE3526

Ordem	Data da Falha	Histórico Falhas [km]	Sistema Reparável	Subsistema
1	08-06-2000	60157	SCI	OutrosSC01
2	06-01-2001	140648	ROS	BOG62
3	22-04-2002	285558	COM	Relés
4	17-02-2005	587843	PAF	FRP3526M
5	19-02-2005	587843	PAF	FRP3526M
6	07-11-2005	685501	SCI	ATC3526M
7	14-07-2006	770502	SCI	ATC3526M
8	28-08-2006	784129	SCI	ATC3526M
9	07-11-2006	817832	AUX	CIB3526M
10	03-10-2007	954621	COM	Cabo Intercomun.
11	05-11-2008	1100122	PAF	GCP12
12	16-12-2008	1118072	PAF	FRP3526M

Na figura 4.16, representam-se graficamente os valores apresentados na tabela 4.15, sendo que no eixo das abcissas está enumerado o histórico das falhas, e por sua vez, no eixo das ordenadas a ordem numérica de cada uma das respectivas falhas. Decidiu-se representar este gráfico, porque de uma forma grosseira podem-se retirar as primeiras conclusões sobre qual o comportamento deste histórico, que compõe a automotora 3526. Assim, grosseiramente, se for possível ajustar uma recta ao conjunto de pontos enumerados, a tendência será a de se estar perante um Processo de Poisson Homogéneo, PPH.

Levando apenas em linha de consideração o gráfico apresentado na figura 4.16, poder-se-á estimar que a taxa de falhas seguirá muito provavelmente uma taxa de falhas constante. Visualizando-se então a figura seguinte, pode-se ver que se consegue ajustar uma recta ao conjunto de pontos que constituem o histórico, embora com alguma imprecisão. De seguida, poder-se-á comprovar por intermédio dos cálculos realizados esta previsão gráfica.

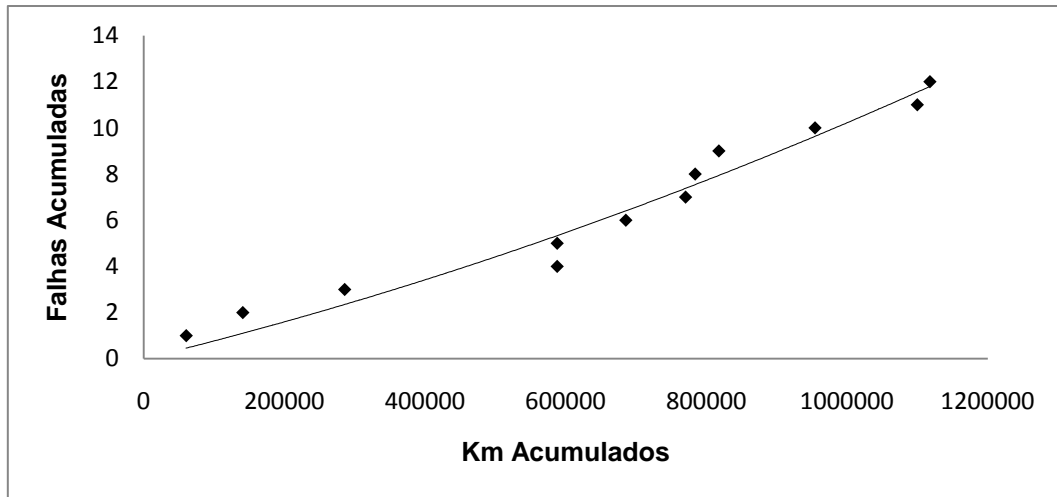


Figura 4.16 - Incidentes UQE3526 em função da quilometragem acumulada

De forma a comprovar as previsões que se fizeram atrás, ir-se-á apresentar os dados realizados para esta automotora. A expressão utilizada, pode ser encontrada no capítulo 2 deste estudo, com o número 2.1. Assim, a aplicação da referida fórmula será utilizada para as doze falhas e com um período de observação do teste de 1.300.000 quilómetros.

$$z_0 = \sqrt{12n_f} \left[\frac{\sum_{i=1}^{n_f} \tau_i}{n_f T} - 0,5 \right] = (\sqrt{12 \cdot 12}) \left[\frac{7892828}{12 \cdot 1300000} - 0,5 \right] = 0,071$$

Se for considerado um nível de significância de $\alpha = 0,10$, usualmente mais utilizado, tem-se que: $Z_{\alpha/2} = Z_{0,05} = 1,645$.

Uma vez que, $|Z_0| < Z_{\alpha/2}$, aceita-se a hipótese nula, H_0 , permitindo desta forma garantir a veracidade da análise gráfica anteriormente apresentada. Deste modo, já se sabe que se está perante um Processo de Poisson Homogéneo (PPH), em que o sistema apresenta uma taxa de falhas constante.

Depois de se confirmar que se está perante um PPH, com taxa de falhas constante mediante a utilização do teste de Laplace, poder-se-á avançar directamente para o cálculo da sua fiabilidade. Pois, neste tipo de casos, não será necessário a utilização do modelo de Crow como foi visto anteriormente.

Assim, através da aplicação das expressões 2.13 e 2.14, chegou-se aos resultados que de seguida se apresentam.

$$MTBF = \frac{T}{n_f} = 108333 \text{ Km}$$

Mínimo garantido de MTBF = $\theta_i = 73109 \text{ Km}$

Assim, observando os resultados pode-se desde já adiantar que a automotora em questão apresentou um tempo médio entre falhas de cerca 108 mil quilómetros, sendo que o seu MTBF mínimo foi de cerca 73000 quilómetros, para um nível de significância de 10%.

Já com o objectivo de se introduzir e perspectivar a segunda parte deste estudo, apresentar-se a figura 4.17, onde se pode apontar qual o sistema reparável que mais contribui para as paragens em serviço que ocorreram nesta automotora.

Tabela 4.16 - Número de falhas ocorridas por SR – UQE3526

Sistema Reparável	Frequência Absoluta	Frequência Relativa	Frequência Relativa Acumulada
PAF	4	0,33	0,33
SCI	4	0,33	0,67
COM	2	0,17	0,83
AUX	1	0,08	0,92
ROS	1	0,08	1,00
PTE	0	0,00	1,00
INP	0	0,00	1,00
CTC	0	0,00	1,00
CLM	0	0,00	1,00

E o gráfico correspondente:

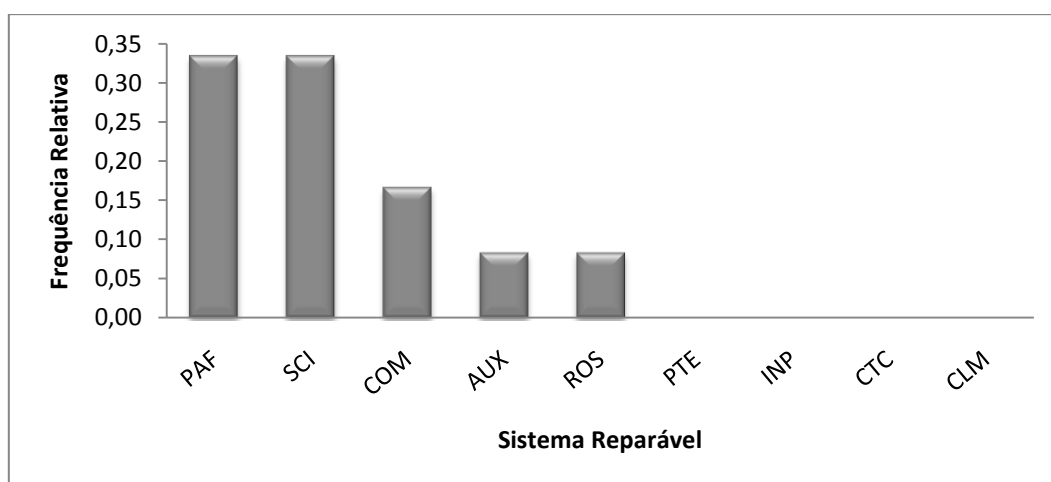


Figura 4.17 - Causas de paragem em função do Sistema Reparável (UQE3526)

Como se pode confirmar na figura acima ilustrada, surge neste caso um novo sistema reparável que até ao momento não tinha tido tanta exposição. Refere-se mais precisamente ao comando e controlo. No entanto, como tem vindo a acontecer, a máxima importância anda mais uma vez partilhada, neste caso em partes iguais de cerca 30%, nos SR da segurança na circulação e na produção de ar e freio.

4.3.9. Automotora UQE – 3527

Na tabela 4.17 que se segue, apresenta-se por ordem cronológica os quilómetros que a automotora apresentava no momento de cada um dos incidentes. Assim, na tabela referida, estão representados os quilómetros acumulados aquando da falha, bem como o seu sistema reparável e subsistema respectivo.

Tabela 4.17 - Quilómetros acumulados por falha ocorrida na UQE3527

Ordem	Data da Falha	Histórico Falhas [km]	Sistema Reparável	Subsistema
1	17-07-2000	67520	PTE	CVE14
2	25-08-2000	93509	SCI	ATC3527M
3	26-02-2002	270592	PAF	GCP12
4	17-05-2002	292925	PTE	TRP10
5	14-03-2003	384357	PTE	DJP07
6	22-04-2003	391608	SCI	ATC3527M
7	13-07-2004	523230	PAF	FRD3527M
8	18-03-2005	599028	PAF	FRD3527M
9	09-04-2005	610730	PTE	CVE14
10	19-07-2005	619954	PAF	GCP12
11	04-08-2005	625179	PAF	GCP12
12	15-09-2005	635720	ROS	BOG62
13	17-05-2007	852226	PAF	FRD3527M
14	21-12-2007	939769	PAF	FRP3527M
15	27-05-2008	987853	PAF	FRD3527M

Na figura 4.18, representam-se graficamente os valores apresentados na tabela 4.17, sendo que no eixo das abcissas está enumerado o histórico das falhas, e por sua vez, no eixo das ordenadas a ordem numérica de cada uma das respectivas falhas. Decidiu-se representar este gráfico, porque de uma forma grosseira podem-se retirar as primeiras conclusões sobre qual o comportamento deste histórico, que compõe a automotora 3527. Assim, grosseiramente, se for possível ajustar uma recta ao conjunto de pontos enumerados, a tendência será a de se estar perante um Processo de Poisson Homogéneo, PPH.

Levando apenas em linha de consideração o gráfico apresentado na figura 4.18, poder-se-á estimar que a taxa de falhas seguirá muito provavelmente uma taxa de falhas constante. Visualizando-se então a figura seguinte, pode-se ver que se consegue ajustar uma recta ao conjunto de pontos que constituem o histórico. De seguida, poder-se-á comprovar por intermédio dos cálculos realizados esta previsão gráfica.

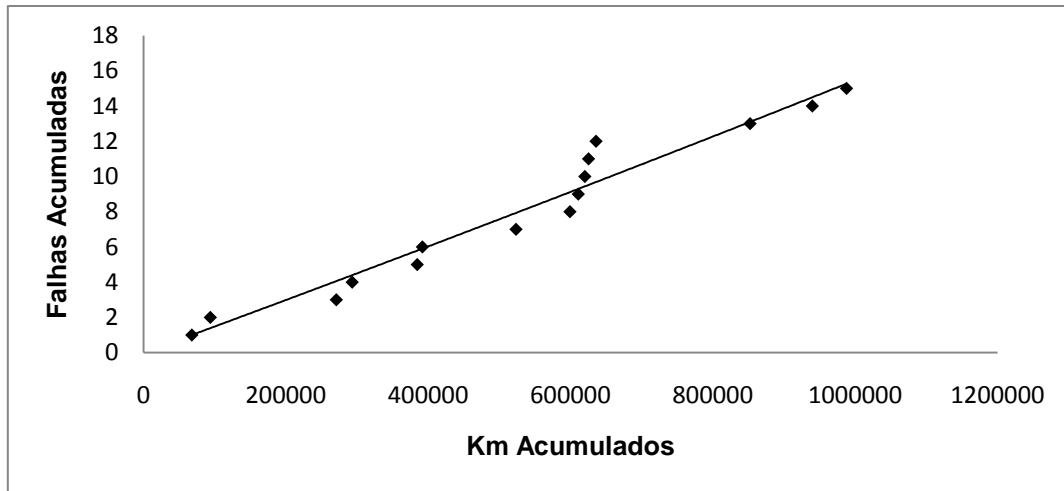


Figura 4.18 - Incidentes UQE3527 em função da quilometragem acumulada

De forma a comprovar as previsões que se fizeram atrás, ir-se-á apresentar os dados realizados para esta automotora. A expressão utilizada, pode ser encontrada no capítulo 2 deste estudo, com o número 2.1. Assim, a aplicação da referida fórmula será utilizada para as quinze falhas e com um período de observação do teste de 1.300.000 quilómetros.

$$z_0 = \sqrt{12n_f} \left[\frac{\sum_{i=1}^{n_f} \tau_i}{n_f T} - 0,5 \right] = (\sqrt{12 \cdot 15}) \left[\frac{7894200}{15 \cdot 1300000} - 0,5 \right] = -1,277$$

Se for considerado um nível de significância de $\alpha = 0,10$, usualmente mais utilizado, tem-se que: $Z_{\alpha/2} = Z_{0,05} = 1,645$.

Uma vez que, $|Z_0| < Z_{\alpha/2}$, aceita-se a hipótese nula, H_0 , permitindo desta forma garantir a veracidade da análise gráfica anteriormente apresentada. Deste modo, já se sabe que se está perante um Processo de Poisson Homogéneo (PPH), em que o sistema apresenta uma taxa de falhas constante.

Depois de se confirmar que se está perante um PPH, com taxa de falhas constante mediante a utilização do teste de Laplace, poder-se-á avançar directamente para o cálculo da sua fiabilidade. Pois, neste tipo de casos, não será necessário a utilização do modelo de Crow como foi visto anteriormente.

Assim, através da aplicação das expressões 2.13 e 2.14, chegou-se aos resultados que de seguida se apresentam.

$$MTBF = \frac{T}{n_f} = 86667 \text{ Km}$$

Mínimo garantido de MTBF = $\theta_i = 61055 \text{ Km}$

Assim, observando os resultados pode-se desde já adiantar que a automotora em questão apresentou um tempo médio entre falhas de cerca 86 mil quilómetros, sendo que o seu MTBF mínimo foi de cerca 61 mil quilómetros, para um nível de significância de 10%.

Já com o objectivo de se introduzir e perspectivar a segunda parte deste estudo, apresentar-se a figura 4.19, onde se pode apontar qual o sistema reparável que mais contribui para as paragens em serviço que ocorreram nesta automotora.

Tabela 4.18 - Número de falhas ocorridas por SR – UQE3527

Sistema Reparável	Frequência Absoluta	Frequência Relativa	Frequência Relativa Acumulada
PAF	8	0,53	0,53
PTE	4	0,27	0,80
SCI	2	0,13	0,93
ROS	1	0,07	1,00
COM	0	0,00	1,00
AUX	0	0,00	1,00
INP	0	0,00	1,00
CTC	0	0,00	1,00
CLM	0	0,00	1,00

E o gráfico correspondente:

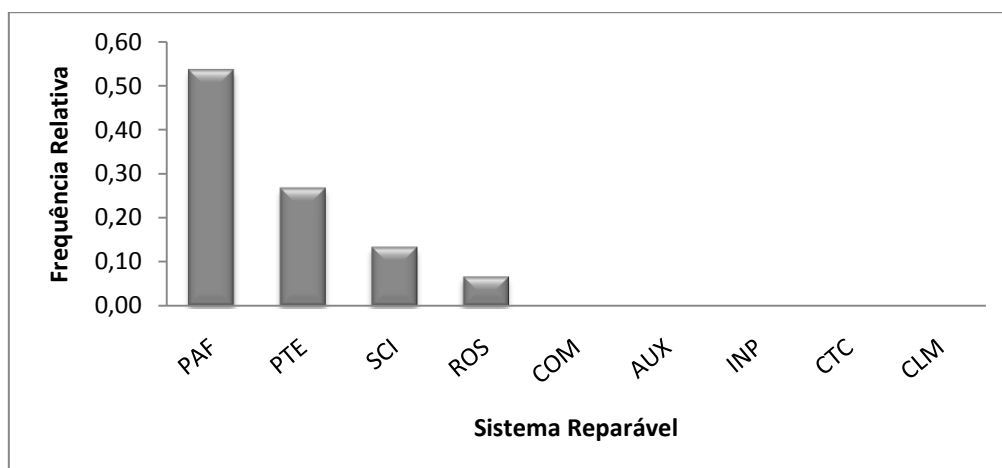


Figura 4.19 - Causas de paragem em função do Sistema Reparável (UQE3527)

De acordo com os resultados que têm vindo a ser apresentados ao longo de toda a linha, mais uma vez está-se perante os sistemas reparáveis mais problemáticos: Produção de Ar e Freio, Potência Eléctrica e Segurança na Circulação.

Deste modo, e uma vez que já estamos em fase avançada da análise para posterior identificação de quais os sistemas reparáveis críticos e que, posteriormente, serão alvo de análise mais profunda, pode-se já em jeito de *pré-conclusão* referir que estes SR referidos anteriormente, PAF, PTE e SCI serão aqueles com valores de criticidade mais elevada.

4.3.10. Automotora UQE – 3528

Na tabela 4.19 que se segue, apresenta-se por ordem cronológica os quilómetros que a automotora apresentava no momento de cada um dos incidentes. Assim, na tabela referida, estão representados os quilómetros acumulados aquando da falha, bem como o seu sistema reparável e subsistema respectivo.

Tabela 4.19 - Quilómetros acumulados por falha ocorrida na UQE3528

Ordem	Data da Falha	Histórico Falhas [km]	Sistema Reparável	Subsistema
1	06-01-2000	10451	AUX	CIB3528M
2	08-02-2000	15478	COM	Agate Control
3	10-06-2000	61381	PAF	FRP3528M
4	23-06-2000	61381	PTE	CVE14
5	06-06-2000	61381	AUX	CIB3528M
6	05-06-2000	61381	AUX	CIB3528M
7	08-06-2000	61381	SCI	ATC3528M
8	05-07-2000	76327	SCI	ATC3528M
9	13-06-2001	197024	SCI	ATC3528M
10	13-06-2001	197024	SCI	ATC3528M
11	13-06-2001	197024	SCI	ATC3528M
12	31-07-2001	206862	SCI	ATC3528M
13	31-07-2001	206862	SCI	ATC3528M
14	28-09-2001	218351	PAF	GCP12
15	03-03-2003	371943	SCI	OutrosSC01
16	02-08-2004	532129	COM	Agate Control
17	01-06-2006	772761	ROS	BOG62
18	23-08-2006	797850	PTE	DJP07
19	26-10-2006	823548	AUX	CVE14
20	28-12-2006	840839	AUX	CVE15
21	22-10-2007	968471	AUX	CIB3528M
22	08-05-2008	1048231	SCI	ATC3528M
23	19-09-2008	1095995	PAF	FRP3528M
24	29-12-2008	1135676	PTE	CVE14

Na figura 4.20, representam-se graficamente os valores apresentados na tabela 4.19, sendo que no eixo das abcissas está enumerado o histórico das falhas, e por sua vez, no eixo das ordenadas a ordem numérica de cada uma das respectivas falhas. Decidiu-se representar este gráfico, porque de uma forma grosseira podem-se retirar as primeiras conclusões sobre qual o comportamento deste histórico, que compõe a automotora

3528. Assim, grosseiramente, se for possível ajustar uma recta ao conjunto de pontos enumerados, a tendência será a de se estar perante um Processo de Poisson Homogéneo, PPH.

Levando apenas em linha de consideração o gráfico apresentado na figura 4.20, poder-se-á estimar que a taxa de falhas seguirá muito provavelmente uma taxa de falhas decrescente. Porque como se pode visualizar, não se consegue ajustar uma recta ao conjunto de pontos que constituem o histórico. De seguida, poder-se-á comprovar por intermédio dos cálculos realizados.

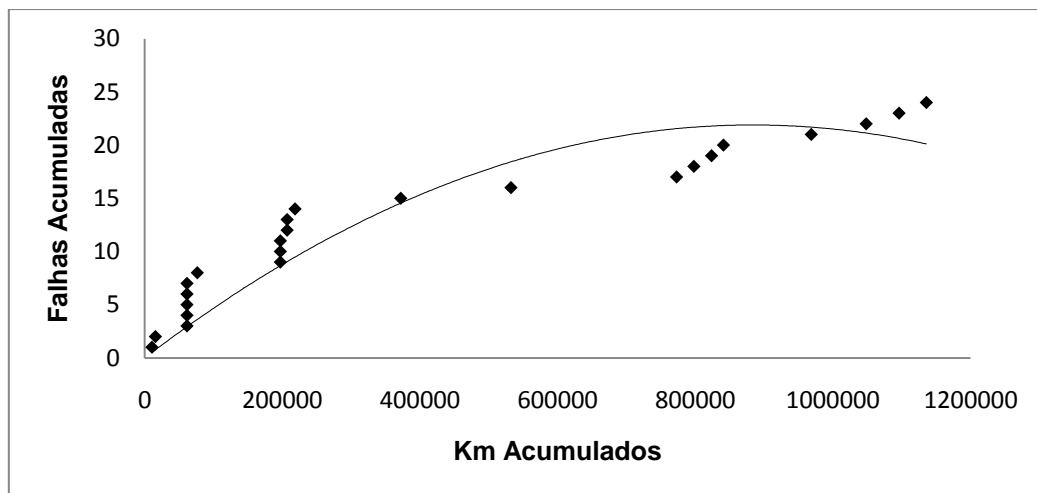


Figura 4.20 - Incidentes UQE3528 em função da quilometragem acumulada

De forma a comprovar as previsões que se fizeram atrás, ir-se-á apresentar os dados realizados para esta automotora. A expressão utilizada, pode ser encontrada no capítulo 2 deste estudo, com o número 2.1. Assim, a aplicação da referida fórmula será utilizada para as vinte e quatro falhas e com um período de observação do teste de 1.300.000 quilómetros.

$$z_0 = \sqrt{12n_f} \left[\frac{\sum_{i=1}^{n_f} \tau_i}{n_f T} - 0,5 \right] = (\sqrt{12 \cdot 24}) \left[\frac{10019751}{24 \cdot 1300000} - 0,5 \right] = -3,035$$

Se for considerado um nível de significância de $\alpha = 0,10$, usualmente mais utilizado, tem-se que: $Z_{\alpha/2} = Z_{0,05} = 1,645$.

Uma vez que, $|Z_0| > Z_{\alpha/2}$, rejeita-se a hipótese nula, H_0 , permitindo desta forma garantir a veracidade da análise gráfica anteriormente apresentada. Deste modo, já se

sabe que se está perante um Processo de Poisson Não Homogéneo (PPNH), em que o sistema apresenta uma taxa de falhas decrescente.

Neste género de sistemas, taxa de falhas decrescente, existe uma tendência para o aumento dos intervalos de tempo entre os incidentes. Deste modo, pode-se referir que esta automotora, tem aumentado a sua fiabilidade, o que na prática se poderá concluir que as manutenções a que tem sido sujeita têm estado a contribuir para a sua fiabilidade total do sistema que a compõe.

Utilizando o Modelo de Crow, parte-se para o cálculo da estimativa do MTBF para as falhas mais recentes, utilizando a expressão 2.4, obtendo-se os coeficientes β e $\hat{\lambda}$ de acordo com as expressões 2.5 e 2.6.

$$\hat{\beta} = \frac{n_f}{\sum_{i=1}^{n_f} \ln \frac{T}{\tau_i}} = \frac{24}{\sum_{i=1}^{17} \ln \frac{1300000}{\tau_i}} = 0,5538$$

$$\hat{\lambda} = \frac{n_f}{T^{\hat{\beta}}} = 0,0099$$

Assim, a estimativa da taxa de falhas será:

$$\rho = \hat{\lambda} \beta \tau^{(\beta-1)} = 1,02 \times 10^{-5}$$

Logo, o valor estimado para o MTBF referente à automotora UQE-3528 será dado através da expressão 2.7, e tem o valor de:

$$\theta = \frac{1}{\hat{\lambda} \beta \tau^{(\beta-1)}} = \frac{1}{\rho} = 97806 \text{ km}$$

Este modelo permite ainda definir também intervalos de confiança para a estimativa calculada do MTBF. De acordo com as expressões 2.8 e 2.9, para os quilómetros percorridos neste sistema em estudo, considerando o número de falhas ocorridas, para um nível de significância de 10% ($\alpha = 10\%$), ter-se-á:

$$\text{Limite inferior: } \theta_i = \theta \pi_1 = 97806 \cdot 0,618 = 60444 \text{ km}$$

$$\text{Limite superior: } \theta_s = \theta \pi_2 = 97806 \cdot 1,745 = 170671 \text{ km}$$

Depois de se observarem estes dados, pode-se concluir que o intervalo de confiança definido após a estimação do MTBF, e uma vez que se está perante uma taxa de falhas

decrecente, significa que ao longo do período do estudo, os intervalos de tempo entre falhas apresentam tendência para aumentar. Este factor, poderá ser entendido como um óptimo factor para a optimização do PMP. Pois, mantendo-se as condições de funcionamento do sistema, as immobilizações para efeitos de manutenção ao equipamento poderá ser aumentado, contribuindo neste caso num maior tempo de disponibilidade em serviço e menor transtorno aos seus utilizadores por immobilizações durante a prestação do serviço.

Já com o objectivo de se introduzir e perspectivar a segunda parte deste estudo, apresentar-se a figura 4.21, onde se pode apontar qual o sistema reparável que mais contribui para as paragens em serviço que ocorreram nesta automotora.

Tabela 2.20 - Número de falhas ocorridas por SR – UQE3528

Sistema Reparável	Frequência Absoluta	Frequência Relativa	Frequência Relativa Acumulada
SCI	9	0,38	0,38
AUX	6	0,25	0,63
PAF	3	0,13	0,75
PTE	3	0,13	0,88
COM	2	0,08	0,96
ROS	1	0,04	1,00
INP	0	0,00	1,00
CTC	0	0,00	1,00
CLM	0	0,00	1,00

E o gráfico correspondente:

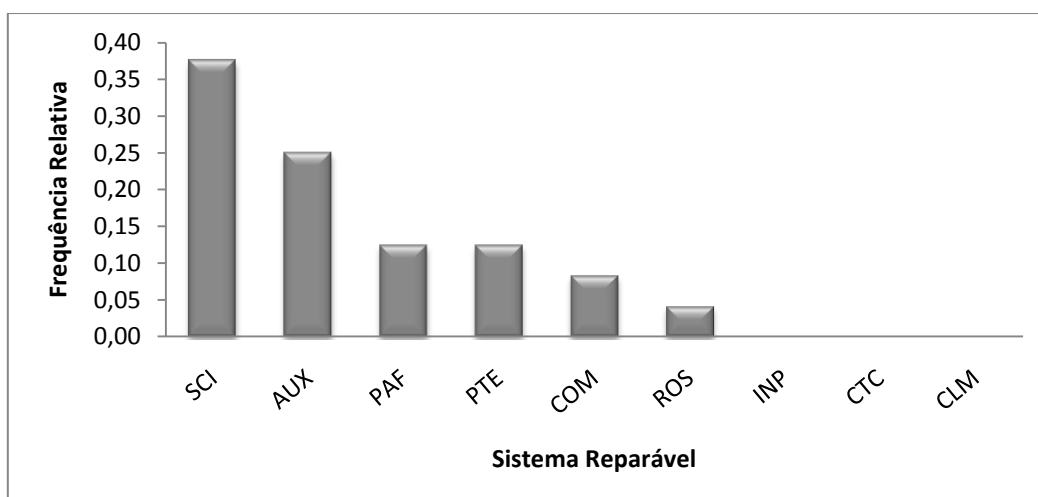


Figura 4.21 - Causas de paragem em função do Sistema Reparável (UQE3528)

Como se pode confirmar na figura acima ilustrada, e mais uma vez na mesma linha do que se concluiu para a automotora 3519, os dois SR responsáveis por cerca de 60% das

falhas são o SCI e os subsistemas incluídos dentro do SR auxiliares. A segurança na circulação é o sistema reparável que será observado em maior pormenor mais à frente. Os incidentes que fazem referência ao AUX, são pequenos elementos que apesar de não serem muito importantes na fiabilidade global da automotora, nas ocorrências registadas, foram responsáveis por imobilizar o material circulante por mais de quatro minutos em serviço.

4.3.11. Automotora UQE – 3529

Na tabela 4.21 que se segue, apresenta-se por ordem cronológica os quilómetros que a automotora apresentava no momento de cada um dos incidentes. Assim, na tabela referida, estão representados os quilómetros acumulados aquando da falha, bem como o seu sistema reparável e subsistema respectivo.

Tabela 4.21 - Quilómetros acumulados por falha ocorrida na UQE3529

Ordem	Data da Falha	Histórico Falhas [km]	Sistema Reparável	Subsistema
1	01-06-2000	72330	CTC	CAI05
2	07-06-2000	72330	PAF	FRP3529M
3	04-05-2001	198280	PAF	FRP3529M
4	21-06-2001	209771	PAF	FRP3529M
5	04-11-2002	365596	PAF	GCP12
6	05-10-2003	473299	PAF	FRP3529M
7	25-01-2004	501980	SCI	OutrosSC01
8	23-02-2004	513218	CLM	CLM3529M
9	21-09-2004	579235	PAF	FRP3529M
10	29-01-2005	616329	PAF	FRP3529M
11	02-05-2005	651284	COM	Cabine Condução
12	20-11-2005	718755	SCI	ATC3529M
13	11-08-2006	779047	COM	Cabo Intercomunicação
14	15-09-2006	792973	SCI	ATC3529M

Na figura 4.22, representam-se graficamente os valores apresentados na tabela 4.21, sendo que no eixo das abcissas está enumerado o histórico das falhas, e por sua vez, no eixo das ordenadas a ordem numérica de cada uma das respectivas falhas. Decidiu-se representar este gráfico, porque de uma forma grosseira podem-se retirar as primeiras conclusões sobre qual o comportamento deste histórico, que compõe a automotora 3529. Assim, grosseiramente, se for possível ajustar uma recta ao conjunto de pontos enumerados, a tendência será a de se estar perante um Processo de Poisson Homogéneo, PPH.

Levando apenas em linha de consideração o gráfico apresentado na figura 4.22, poder-se-á estimar que a taxa de falhas seguirá muito provavelmente uma taxa de falhas decrescente. Porque como se pode visualizar, não se consegue ajustar uma recta ao conjunto de pontos que constituem o histórico. De seguida, poder-se-á comprovar por intermédio dos cálculos realizados.

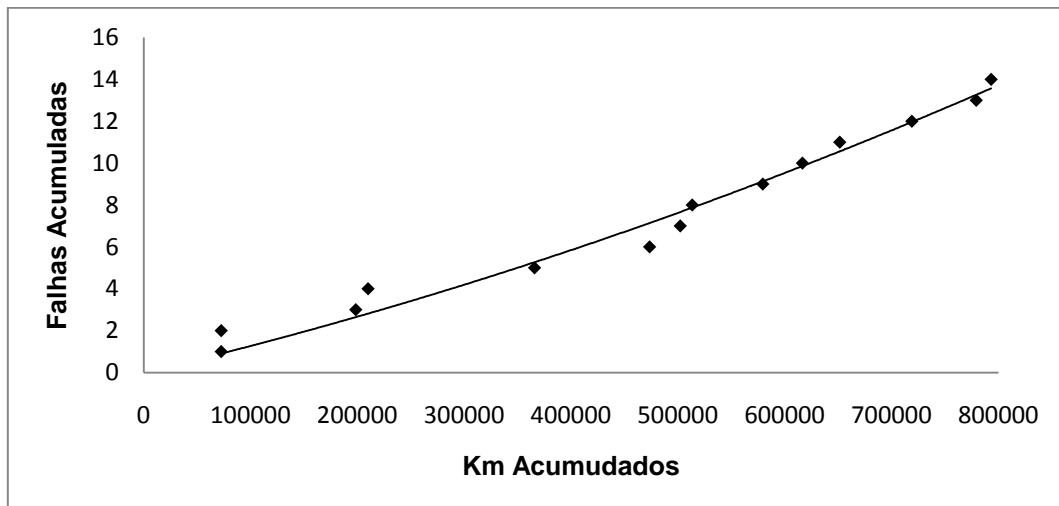


Figura 4.22 - Incidentes UQE3529 em função da quilometragem acumulada

De forma a comprovar as previsões que se fizeram atrás, ir-se-á apresentar os dados realizados para esta automotora. A expressão utilizada, pode ser encontrada no capítulo 2 deste estudo, com o número 2.1. Assim, a aplicação da referida fórmula será utilizada para as catorze falhas e com um período de observação do teste de 1.300.000 quilómetros.

$$z_0 = \sqrt{12n_f} \left[\frac{\sum_{i=1}^{n_f} \tau_i}{n_f T} - 0,5 \right] = (\sqrt{12 \cdot 14}) \left[\frac{6544427}{14 \cdot 1300000} - 0,5 \right] = -1,820$$

Se for considerado um nível de significância de $\alpha = 0,10$, usualmente mais utilizado, tem-se que: $Z_{\alpha/2} = Z_{0,05} = 1,645$.

Uma vez que, $|Z_0| > Z_{\alpha/2}$, rejeita-se a hipótese nula, H_0 , permitindo desta forma garantir a veracidade da análise gráfica anteriormente apresentada. Deste modo, já se sabe que se está perante um Processo de Poisson Não Homogéneo (PPNH), em que o sistema apresenta uma taxa de falhas decrescente.

Neste género de sistemas, taxa de falhas decrescente, existe uma tendência para o aumento dos intervalos de tempo entre os incidentes. Deste modo, pode-se referir que

esta automotora, tem aumentado a sua fiabilidade, o que na prática se poderá concluir que as manutenções a que tem sido sujeita têm estado a contribuir para a sua fiabilidade total do sistema que a compõe.

Utilizando o Modelo de Crow, parte-se para o cálculo da estimativa do MTBF para as falhas mais recentes, utilizando a expressão 2.4, obtendo-se os coeficientes β e $\hat{\lambda}$ de acordo com as expressões 2.5 e 2.6.

$$\hat{\beta} = \frac{n_f}{\sum_{i=1}^{n_f} \ln \frac{T}{\tau_i}} = \frac{14}{\sum_{i=1}^{17} \ln \frac{1300000}{\tau_i}} = 0,8006$$

$$\hat{\lambda} = \frac{n_f}{T\beta} = 0,0002$$

Assim, a estimativa da taxa de falhas será:

$$\rho = \hat{\lambda}\beta\tau^{(\beta-1)} = 8,62 \times 10^{-6}$$

Logo, o valor estimado para o MTBF referente à automotora UQE-3529 será dado através da expressão 2.7, e tem o valor de:

$$\theta = \frac{1}{\hat{\lambda}\beta\tau^{(\beta-1)}} = \frac{1}{\rho} = 115986 \text{ km}$$

Este modelo permite ainda definir também intervalos de confiança para a estimativa calculada do MTBF. De acordo com as expressões 2.8 e 2.9, para os quilómetros percorridos neste sistema em estudo, considerando o número de falhas ocorridas, para um nível de significância de 10% ($\alpha = 10\%$), ter-se-á:

$$\text{Limite inferior: } \theta_i = \theta\pi_1 = 115986 \cdot 0,533 = 61821 \text{ km}$$

$$\text{Limite superior: } \theta_s = \theta\pi_2 = 115986 \cdot 2,153 = 249719 \text{ km}$$

Depois de se observarem estes dados, pode-se concluir que o intervalo de confiança definido após a estimação do MTBF, e uma vez que se está perante uma taxa de falhas decrescente, significa que ao longo do período do estudo, os intervalos de tempo entre falhas apresentam tendência para aumentar. Este factor, poderá ser entendido como um óptimo factor para a optimização do PMP. Pois, mantendo-se as condições de funcionamento do sistema, as immobilizações para efeitos de manutenção ao equipamento

poderá ser aumentado, contribuindo neste caso num maior tempo de disponibilidade em serviço e menor transtorno aos seus utilizadores por imobilizações durante a prestação do serviço.

Já com o objectivo de se introduzir e perspectivar a segunda parte deste estudo, apresentar-se a figura 4.23, onde se pode apontar qual o sistema reparável que mais contribui para as paragens em serviço que ocorreram nesta automotora.

Tabela 4.22 - Número de falhas ocorridas por SR – UQE3529

Sistema Reparável	Frequência Absoluta	Frequência Relativa	Frequência Relativa Acumulada
PAF	7	0,50	0,50
SCI	3	0,21	0,71
COM	2	0,14	0,86
CTC	1	0,07	0,93
CLM	1	0,07	1,00
AUX	0	0,00	1,00
PTE	0	0,00	1,00
ROS	0	0,00	1,00
INP	0	0,00	1,00

E o gráfico correspondente:

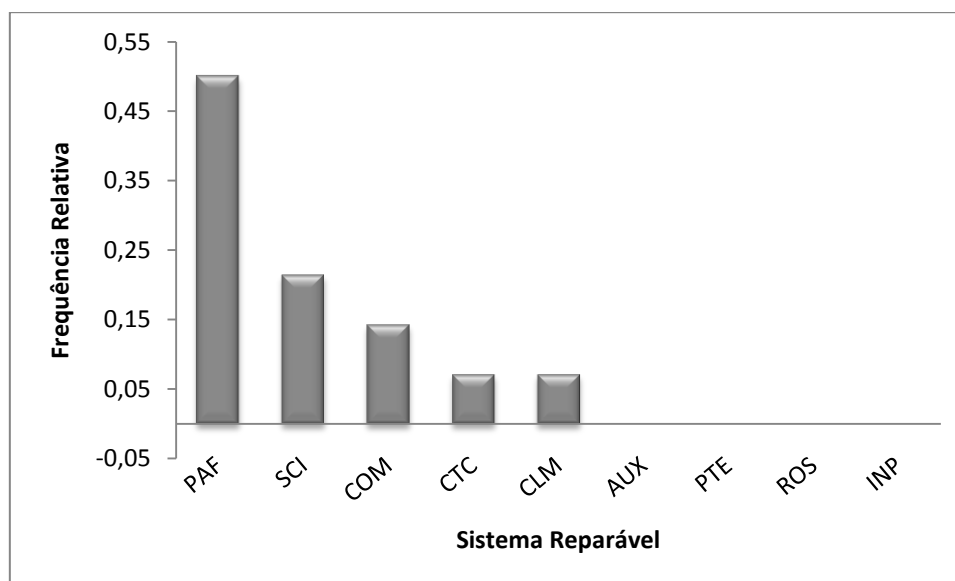


Figura 4.23 - Causas de paragem em função do Sistema Reparável (UQE3529)

No caso desta automotora, cinquenta por cento das ocorrências incidiram no SR de produção de ar e freio. Como se poderá ver mais à frente, este é um sistema reparável que apresentou algumas limitações. Os outros sistemas reparáveis, contribuíram mais ou menos nas mesmas proporções para as limitações expostas no estudo.

4.3.12. Automotora UQE – 3530

Na tabela 4.23 que se segue, apresenta-se por ordem cronológica os quilómetros que a automotora apresentava no momento de cada um dos incidentes. Assim, na tabela referida, estão representados os quilómetros acumulados aquando da falha, bem como o seu sistema reparável e subsistema respectivo.

Tabela 4.23 - Quilómetros acumulados por falha ocorrida na UQE3530

Ordem	Data da Falha	Histórico Falhas [km]	Sistema Reparável	Subsistema
1	06-06-2000	52651	CTC	CAI05
2	14-06-2000	52651	CTC	CAI05
3	20-08-2000	70240	SCI	ATC3530M
4	04-09-2001	206290	PAF	FRP3530M
5	11-01-2005	527653	CTC	CAI05
6	31-01-2007	809295	SCI	OutrosSC01
7	16-05-2007	859564	COM	Relés
8	11-12-2007	931722	PAF	FRP3530M
9	14-03-2008	982607	CTC	CAI05
10	29-06-2008	994396	CTC	CAI05
11	30-10-2008	1043272	PTE	CVE14

Na figura 4.24, representam-se graficamente os valores apresentados na tabela 4.23, sendo que no eixo das abcissas está enumerado o histórico das falhas, e por sua vez, no eixo das ordenadas a ordem numérica de cada uma das respectivas falhas. Decidiu-se representar este gráfico, porque de uma forma grosseira podem-se retirar as primeiras conclusões sobre qual o comportamento deste histórico, que compõe a automotora 3530. Assim, grosseiramente, se for possível ajustar uma recta ao conjunto de pontos enumerados, a tendência será a de se estar perante um Processo de Poisson Homogéneo, PPH.

Levando apenas em linha de consideração o gráfico apresentado na figura 4.24, poder-se-á estimar que a taxa de falhas seguirá muito provavelmente uma taxa de falhas constante. Visualizando-se então a figura seguinte, pode-se ver que se consegue ajustar uma recta ao conjunto de pontos que constituem o histórico. De seguida, poder-se-á comprovar por intermédio dos cálculos realizados esta previsão gráfica.

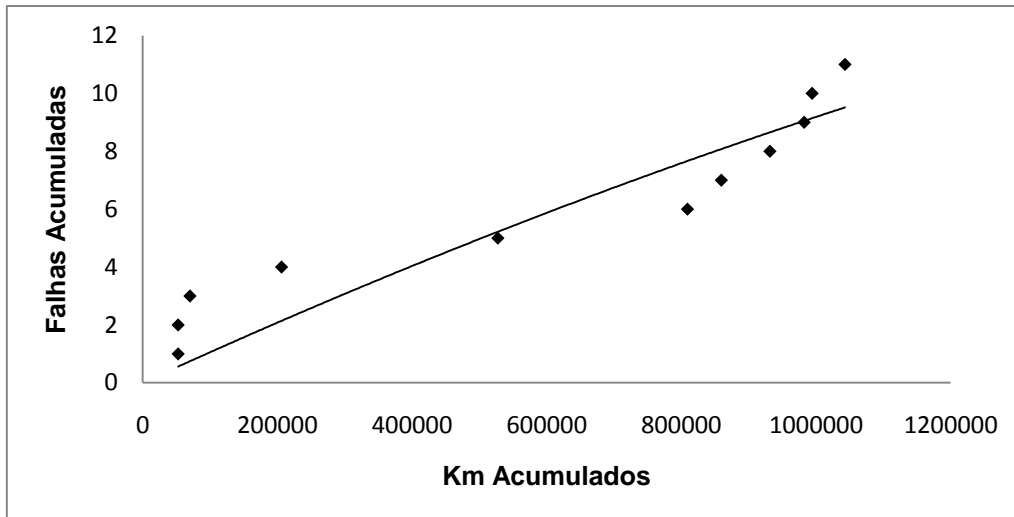


Figura 4.24 - Incidentes UQE3530 em função da quilometragem acumulada

De forma a comprovar as previsões que se fizeram atrás, ir-se-á apresentar os dados realizados para esta automotora. A expressão utilizada, pode ser encontrada no capítulo 2 deste estudo, com o número 2.1. Assim, a aplicação da referida fórmula será utilizada para as onze falhas e com um período de observação do teste de 1.300.000 quilómetros.

$$z_0 = \sqrt{12n_f} \left[\frac{\sum_{i=1}^{n_f} \tau_i}{n_f T} - 0,5 \right] = (\sqrt{12 \cdot 11}) \left[\frac{6530341}{11 \cdot 1300000} - 0,5 \right] = -0,498$$

Se for considerado um nível de significância de $\alpha = 0,10$, usualmente mais utilizado, tem-se que: $Z_{\alpha/2} = Z_{0,05} = 1,645$.

Uma vez que, $|Z_0| < Z_{\alpha/2}$, aceita-se a hipótese nula, H_0 , permitindo desta forma garantir a veracidade da análise gráfica anteriormente apresentada. Deste modo, já se sabe que se está perante um Processo de Poisson Homogéneo (PPH), em que o sistema apresenta uma taxa de falhas constante.

Depois de se confirmar que se está perante um PPH, com taxa de falhas constante mediante a utilização do teste de Laplace, poder-se-á avançar directamente para o cálculo da sua fiabilidade. Pois, neste tipo de casos, não será necessário a utilização do modelo de Crow como foi visto anteriormente.

Assim, através da aplicação das expressões 2.13 e 2.14, chegou-se aos resultados que de seguida se apresentam.

$$MTBF = \frac{T}{n_f} = 118182 \text{ Km}$$

Mínimo garantido de MTBF = $\theta_i = 78322 \text{ Km}$

Assim, observando os resultados pode-se desde já adiantar que a automotora em questão apresentou um tempo médio entre falhas de cerca 118 mil quilómetros, sendo que o seu MTBF mínimo foi de cerca 78 mil quilómetros, para um nível de significância de 10%.

Já com o objectivo de se introduzir e perspectivar a segunda parte deste estudo, apresentar-se a figura 4.25, onde se pode apontar qual o sistema reparável que mais contribui para as paragens em serviço que ocorreram nesta automotora.

Tabela 4.24 - Número de falhas ocorridas por SR – UQE3530

Sistema Reparável	Frequência Absoluta	Frequência Relativa	Frequência Relativa Acumulada
CTC	5	0,45	0,45
PAF	2	0,18	0,64
SCI	2	0,18	0,82
COM	1	0,09	0,91
PTE	1	0,09	1,00
CLM	0	0,00	1,00
AUX	0	0,00	1,00
ROS	0	0,00	1,00
INP	0	0,00	1,00

E o gráfico correspondente:

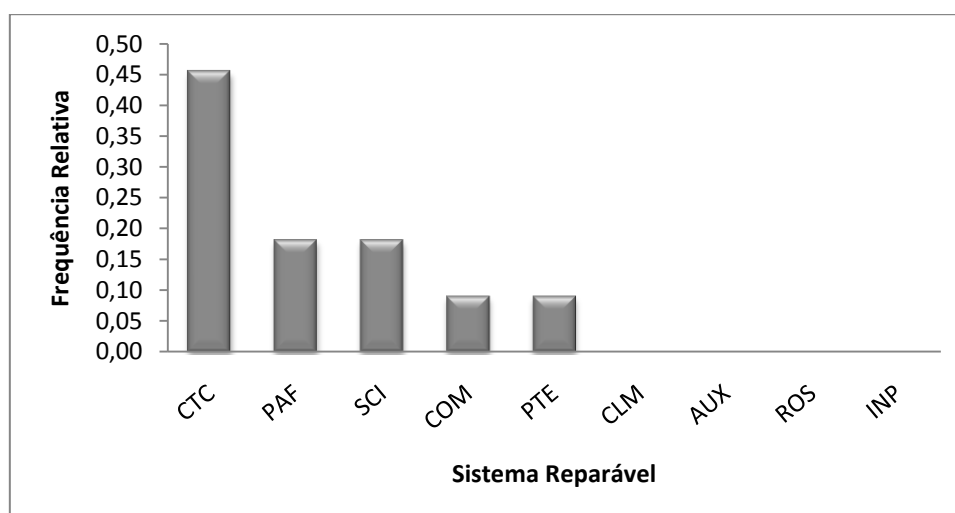


Figura 4.25 - Causas de paragem em função do Sistema Reparável (UQE3530)

Mesmo sendo esta a última automotora em análise, isso não veio inviabilizar a tendência que tem vindo a ser criada ao longo deste estudo. Esta afirmação é feita de

acordo com o que a figura 4.25 ilustra. Mais uma vez, PAF e SCI aparecem em lugar de destaque, com a sua função conjugada em cerca de 40%.

No entanto, à imagem do que acontecem em apenas uma vez nesta análise, caso da automotora 3519, a SR de caixa, tracção e choque aparece com 45% de responsabilidade das imobilizações em linha com mais de quatro minutos.

Apesar de ser o que os dados confirmam, este resultado não poderá ser extrapolado para toda a frota. Pois, num universo de 11 falhas, bastava um dia em que não existisse material circulante em parque para substituição para se assistir ao incremento de incidentes neste sistema reparável.