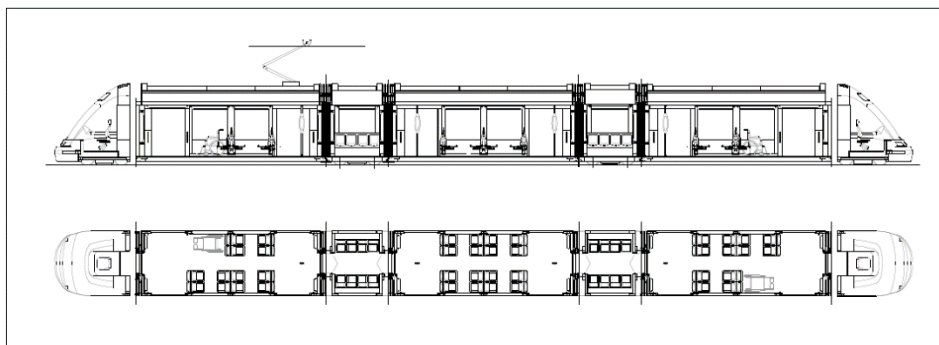


Aplicação da metodologia RCM II aos sistemas de portas e freio do veículo EuroTram



João Maria Teixeira Carneiro Fernandes Aleluia

Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

Ramo Projeto e Construções Mecânicas

Orientador FEUP: Sr. Prof. Doutor. Luís Andrade Ferreira

Orientador na CP: Eng. José Carlos Barbosa

Porto, 29 de junho de 2020

©João Maria Aleluia, 2020

Resumo

A área da manutenção tem-se revelado, ao longo dos últimos anos, uma das componentes de maior impacto e relevo nas atividades empresariais. A crescente procura e exigência sobre os bens disponibilizados nos mercados têm obrigado a indústria a produzir cada vez mais e melhor, impulsionando inovações, que levaram à automatização dos processos industriais. A atual complexidade e sofisticação dos equipamentos leva à necessidade de um conhecimento crescente dos processos, dos equipamentos e de como otimizar a disponibilidade destes.

A otimização qualitativa e quantitativa nunca foi tão fundamental para que as atividades das empresas sejam, tanto tecnicamente como economicamente, viáveis e sustentáveis. A manutenção desenvolve um papel essencial uma vez que, além de acompanhar todo este desenvolvimento, contribui para produção de riqueza de forma contínua e sustentada.

A seguinte dissertação apresenta como objetivo primordial explicitar e aplicar a metodologia RCM - *Reliability Centered Maintenance* aos sistemas de portas e freio da frota EuroTram (ET) de forma a racionalizar os sistemas, planos e atividades de manutenção dos equipamentos no seu contexto operacional. Trata de analisar sistemas específicos no seu contexto operacional e determinar quais as funções requeridas e em que intervalos de tempo devem ou não ser executadas intervenções de manutenção. Uma das ferramentas utilizadas foi o FMEA - *Failure Mode and Effects Analysis*, que permite avaliar e descrever rigorosa e sucintamente cada função e respetivas falhas, facilitando assim decisões mais adequadas e eficazes sobre os métodos e períodos de intervenção.

O presente trabalho, realizado em contexto industrial, contém uma análise dos sistemas de portas e freios hidráulicos da frota de metros EuroTram, sendo esta a frota mais numerosa da operação e os sistemas referidos aqueles com mais frequência de avarias. O objetivo da implementação desta análise a partir dos métodos acima referidos é aumentar o conhecimento dos sistemas avaliados e das suas funções em contexto operacional, para futura otimização dos planos e atividades de manutenção, manutibilidade, com o intuito do aumento da fiabilidade da frota e consequente aumento da sua disponibilidade, permitindo a prestação do melhor serviço possível.

Abstract

The maintenance area has proved to be, over the last few years, one of the components of greatest impact and relevance in business activities. The growing demand and requirement on the goods available on the markets has forced the industry to produce more and better and more, driving innovations, which led to automation of the industrial processes. The current, complexity and sophistication of equipment leads to the need for a growing knowledge of processes, equipment and how to optimize their availability.

Qualitative and quantitative optimization has never been more fundamental for companies' activities to be, both technically and economically, viable and sustainable. Maintenance plays an essential role since, in addition to accompanying all this development, it contributes to the production of wealth in a continuous and sustained manner.

The following dissertation has as its main objective to explain and apply the RCM - Reliability Centered Maintenance methodology of the systems of doors and brakes on the EuroTram fleet. Which deals with analyzing specific systems in their operational context and determining which functions are required and in which time intervals should or should not be performed maintenance interventions. One of the tools used was FMEA - Failure mode and effects analysis, which allows to evaluate and describe rigorously and succinctly each function and respective failures, thus facilitating more appropriate and effective decisions about the methods and periods of intervention.

The present work, done in industrial context, contains an analysis of the door and hydraulic brake system of the EuroTram metro fleet, which is the most numerous fleet in the operation and the systems referred to are those with the most frequent breakdowns. The objective of implementing this analysis using the methods mentioned above is to increase the knowledge of the evaluated systems and their functions, for future optimization of maintenance plans, with the aim of increasing the reliability of the fleet and consequently increasing its availability, allowing the providing the best possible service.

Agradecimentos

Antes de mais, gostaria de expor a minha profunda gratificação ao Sr. Prof. Doutor Luís Andrade Ferreira pela oportunidade concedida, por todo o seu apoio e constante incentivo. Foi graças à sua inestimável experiência e conhecimento numa área específica e sui generis como é a manutenção ferroviária que foi possível a realização da seguinte dissertação.

Agradeço igualmente à CP, Comboios de Portugal e ao Eng. José Carlos Barbosa por me ter aceite e integrado de forma tão generosa neste projeto e Eng. Rui Azevedo pela possibilidade de poder desenvolver uma metodologia como o RCM numa empresa tão relevante na área da manutenção. Agradeço-lhes também pela disponibilidade, paciência e incentivo ao longo desta breve, mas agradável experiência.

Queria também expressar a minha gratidão ao Eng. Francisco Mendonça pela desmedida boa disposição e cuidado ao longo deste período e ao Eng. Jorge Sousa e Eng. Luís Nunes da Metro do Porto, por todo o interesse que demonstraram desde início em mostrar tanto os cantos da casa e em passar todo conhecimento oficial e de engenharia de manutenção. Gostaria, identicamente, não só de agradecer ao Eng. Afonso Lázaro, mas também de demonstrar a minha enorme admiração por todo o seu trabalho, a paixão e Know-How demonstrado em engenharia ferroviária.

A todos os técnicos e responsáveis da manutenção pelas explicações e demonstrações cedidas.

Não quero de deixar de agradecer ao Sr. Eng. Luís Filipe Nogueira Cavaleiro pela paciência empenho e interesse nas inúmeras explicações da metodologia RCM e manutenção em geral dadas ao longo deste tempo tanto nas reuniões de revisão RCM como fora delas.

Aos meus pais e avós e irmã por toda a ajuda e oportunidade ao longo destes anos e à minha namorada Catarina, pela disponibilidade, interesse, preocupação e generosidade com que me brindou desde sempre e o qual, sem ela, nada disto teria sido possível. Foram sem dúvida um dos meus grandes estímulos para a realização deste curso.

Por último, mas não menos importante gostaria de agradecer aos meus amigos, em especial ao meu grande amigo de sempre Bernardo Ferreira de Lemos por estar presente em todas as etapas e ao meu amigo e colega de curso João José Costa por todo o apoio ao longo destes anos.

Índice de conteúdos

1	Introdução.....	1
1.1	Apresentação do problema	3
1.2	Objetivos	4
1.3	Estrutura da dissertação.....	5
2	Caracterização da organização e história	6
2.1	Ambientação e envolvimento na empresa.....	7
3	Estado de arte	9
3.1	Gestão de manutenção de ativos	9
3.2	Manutenção.....	10
3.2.1	Tipos de manutenção	14
3.3	Função	16
3.4	Fiabilidade.....	18
3.4.1	Curvas de degradação	19
3.4.2	Tarefas.....	23
3.5	Disponibilidade	28
3.6	Índices	31
3.7	Definição e caracterização de Falhas	33
3.7.1	Modos de falha	33
3.7.2	Efeitos da falha	35
3.7.3	Consequências da falha	35
3.8	FMEA - Failure modes and effects analysis	37
3.8.1	FME(C)A - Failure modes, effects and criticality analysis.....	38
3.9	Análise de risco	40
4	RAMS.....	42
4.1	Custo de ciclo de vida, LCC	43
4.2	Os custos da manutenção	46
5	RCM.....	47
5.1.1	O RCM II e as sete questões básicas	47
5.1.2	Implementação do RCMII	49
5.1.3	Folha de informações	52
5.1.4	Diagrama de decisão	53
5.1.5	Auditorias.....	55

5.1.6	Continuação da aplicação da metodologia.....	55
5.1.7	RCM II vs. RCM III.....	56
5.2	Falta de informação e qualidade dos dados históricos.....	58
5.3	Recolha de dados.....	59
6	Veículo.....	61
6.1	Contextualização do veículo e da operação e manutenção.....	61
6.2	Caracterização do veículo.....	65
7	Desenvolvimento e análise do sistema de portas do EuroTram.....	67
7.1	Caracterização da porta e sua inserção no veículo.....	67
7.2	Caracterização do conjunto Porta.....	69
7.2.1	Mecanismo de acionamento.....	69
7.2.2	Suporte da porta.....	70
7.2.3	Sistema de acionamento.....	71
7.2.4	Sistema de bloqueio.....	71
7.2.5	Sensores.....	72
7.2.6	Folha da Porta.....	72
7.2.7	Mecanismo de isolamento.....	73
7.2.8	Barra de coordenação vertical.....	74
7.2.9	Unidade de controlo UCP.....	74
7.2.10	Manípulo de emergência.....	76
7.2.11	Manípulo de abertura manual exterior.....	77
7.2.12	Laço de segurança.....	78
7.3	Caracterização do funcionamento e movimento da porta.....	79
7.3.1	Comando das portas.....	81
8	Sistema de frenagem.....	84
8.1	O freio eletrodinâmico.....	86
8.2	O freio eletromagnético.....	86
8.3	O freio hidráulico.....	88
8.3.1	Conjunto atuador.....	92
9	Implementação do RCM.....	95
9.1	Portas.....	97
9.2	Freios.....	121
10	Conclusões e trabalhos futuros.....	135
11	Referências.....	137
	Anexo I – Especificações técnicas das portas.....	140
	Anexo II – Manual de procedimentos de avarias de portas.....	142

Anexo III – Características dos Tipos de frenagem	150
Anexo IV – Árvore de falhas FTA	158

Índice de figuras

Figura 1: Tipos de Manutenção.....	15
Figura 2: Curvas de Degradação [11]	19
Figura 3: Curva da Banheira [11].....	20
Figura 4: Curva do intervalo P-F	24
Figura 5: Histórico de funcionamento de um componente [14].....	29
Figura 6: Representação MTBF	30
Figura 7: Tempos de Manutenção [4]	32
Figura 8: Quadro de causas de modos de Falha [7]	34
Figura 9: Gráfico de distinção de riscos aceitáveis e não aceitáveis [12]	41
Figura 10: Gráfico identificativo da zona ALARP [12].....	41
Figura 11: O efeito iceberg [20]	44
Figura 12: Estruturação de custos OpEx CapEx [20]	44
Figura 13: Constituição equipa RCM	50
Figura 14: Exemplo de folha de informações usada nas reuniões de RCM	52
Figura 15: Componentes de um Diagrama de decisão RCMII-Aladon [1].....	53
Figura 16: Exemplo de um Diagrama de Decisão usado durante as reuniões de RCM	54
Figura 17: Tabela de periodicidade de cada intervenção	64
Figura 18: Identificação Módulos e Bogies EuroTram.....	65
Figura 19: Esquema de portas.....	67
Figura 20: Mapa de portas do veículo.....	67
Figura 21: Conjunto da porta	68
Figura 22: Mecanismo da porta	69
Figura 23: Suportes do mecanismo da porta	70
Figura 24: Perfil do sistema telescópico da porta	70
Figura 25: Sistema de bloqueio da porta	71
Figura 26: Folha da Porta	72
Figura 27: Mecanismo de isolamento	73
Figura 28: Barras de coordenação vertical esquerda e direita	74
Figura 29: UCP	75
Figura 30: Manípulo de emergência e sistema de funcionamento	76
Figura 31: Manipulo de abertura exterior.....	77

Figura 32: Movimento de abertura oscilante e Movimento de abertura deslizante	79
Figura 33: Movimento de fecho deslizante e Movimento de fecho oscilante.....	80
Figura 34: Botão de abertura de portas pelo passageiro Figura 35: P6-1 Autorização de abertura de porta do lado esquerdo	81
Figura 36: P6-2 Comando para abertura de portas Figura 37: P6-3 Autorização de abertura de porta do lado direito	82
Figura 38: P6-4 Comando para fecho de portas	82
Figura 39: Posto de comando e controladores	84
Figura 40: Quadro de caraterísticas dos diferentes tipos de frenagem.....	85
Figura 41: Perfil do Bogie com identificação do sistema de freio eletromagnético	86
Figura 42:HPU.....	88
Figura 43: Cáliper do conjunto atuador	92
Figura 44: Enumeração das consequências dos modos de falha do sistema porta.....	119
Figura 45: Enumeração de cada tipo tarefa do sistema porta.....	119
Figura 46: Enumeração das tarefas do sistema de freio HD	133
Figura 47: Enumeração das consequências dos modos de falha do sistema de freio HD	133
Figura 48: Simbologia FTA.....	158

Índice de tabelas

Tabela 1: Gerações da Manutenção (adaptado de Moubray) [1,5].....	11
Tabela 2: Caracterização das regiões da curva e possíveis razões de falha [11]	21
Tabela 3: Índice de severidade, S.....	39
Tabela 4: Frequência de ocorrência de falhas, O.....	39
Tabela 5: Índice de detetabilidade, D	39
Tabela 6: Matriz de criticidade.....	40
Tabela 7: Descrição componentes HPU	89
Tabela 8: Avaliação e análise de alguns modos de falha com RPN mais críticos no sistema de portas	120
Tabela 9: Análise de modos de falhas com RPN mais críticos do sistema de freio.....	134

Abreviaturas e Siglas

A- Estado de avaria

AVAC- Aquecimento, ventilação e ar condicionado

ALARP- As low as reasonably practicable

BCU - Braking Control Unit

CAPEX- Capital Expenditure

D- Detetabilidade

DCU - Door Control Unit

DI - Digital Input

DO - Digital output

EMEF- Empresa de Manutenção de Equipamento Ferroviário

ET- EuroTram

F- Estado de Funcionamento

FMEA - Failure mode and effects analysis

FMECA - Failure mode, effects and criticality analysis

HH- Horas.Homem

IBIS - Sistema Integrado de informações de Bordo

ICD- Índice Chave-Desempenho

IoT- Internet of things

LCC - Life Cycle Cost

LV - lógica do veículo

MCU - Manual Caliper Unlock

MDBF - Mean Distance between failure

MP- Metro do Porto

MTBF - Mean Time Between Failures

MTTF - Mean Time to Failure

O- Ocorrência

OBC - On Board Computer
OC - Contexto operacional
OPEX- Operational Expenditure
OT- Ordem de trabalho
PM - Manutenção preditiva
R's - Revisão periódica
RAMS - Reliability, Availability, Maintainability and Safety
RCM - Manutenção Centrada em Fiabilidade
RPN- Risk Priority Number
S- Severidade
TM- Tempo de Manutenção
UCP - Unidade de controlo de porta
V- Volts
V's - Vistorias periódicas
Vcc - Volts em corrente continua
VTCU - Sistema de lógica do veículo

1 Introdução

Numa época onde o ser humano é cada vez mais exigente quanto ao seu consumo, tanto em quantidade como em qualidade, é fundamental garantir que essas expectativas e necessidades são concretizadas. Esta exigência é transversal a todas as áreas e, por isso, tanto serviços como equipamentos precisam de cumprir os requisitos para os quais foram projetados.

Na complexa sociedade em que vivemos é caótico ter serviços em falha, como por exemplo, falta de eletricidade, transportes fora de horas, ou falta de capacidade ou de equipamentos em hospitais e em indústrias produtoras de bens essenciais. É por isso fundamental manter estes ativos a cumprir, de uma forma eficaz, as suas funções.

O transporte ferroviário é dos mais utilizados e relevante na mobilidade atual e histórica, tendo sido responsável pelo desenvolvimento de inúmeros territórios e sociedades, durante o século XIX, XX e também XXI. Desempenha e desempenhou um papel importantíssimo na sociedade. Desde permitir a “conquista” do território, facilitando assim a deslocalização de pessoas, agricultura e indústria, a garantir a mobilidade de massas nos grandes centros urbanos.

Apenas o transporte ferroviário urbano será abordado, e não o transporte de cargas nem de pessoas de longo curso. O papel dos sistemas de transporte urbano de pessoas sobre carril é hoje fundamental nas médias e grandes cidades e nos grandes aglomerados urbanos, contribuindo para a garantia de mobilidade urbana, impossível de assegurar no modo rodoviário. A título de exemplo, o sistema de transportes de Londres faz inúmeras viagens dia, das quais grande parte são um conjunto entre metro e comboio. A paragem destes sistemas faz toda a região metropolitana “desacelerar” por impossibilidade de deslocações viáveis em modo individual.

A segurança e fiabilidade dos sistemas ferroviários de transporte de passageiros em geral, e dos sistemas de metro em concreto estão intrínsecas aos objetivos e expectativas quotidianas de quem fornece o serviço e também de quem usufrui deste.

Não é só a diminuição de capacidade ou a alteração das condições de fornecimento que afeta uma sociedade e a sua relação com os fornecedores dos serviços relevantes, os fenómenos de grande impacto ao nível da segurança de pessoas e bens ou ambiental, são mais relevantes.

Falhas de equipamentos provocaram na nossa história recente, dos piores acidentes que temos memória como, por exemplo, Chernobyl ou Piper Alpha. É o nosso dever, enquanto engenheiros ligados à manutenção, ajudar a prevenir acontecimentos semelhantes. [1]

Contrariamente ao que se possa julgar, a manutenção não tem como foco principal a redução ou controlo de custos desse conjunto de atividades, uma vez que, apesar da sua importância, estes pertencem mais ao domínio das consequências. O foco primordial da manutenção assenta na crescente consciencialização do impacto que a falha de um equipamento pode ter na segurança e meio ambiente, na crescente compreensão da relação entre manutenção e qualidade do produto ou serviço, e na maior pressão para se atingir uma elevada fiabilidade com consequente aumento da disponibilidade e criação de valor. [1]

1.1 Apresentação do problema

A gestão de manutenção dos ativos da CP - Comboios de Portugal, aliados a uma excelente prestação de serviços, sempre foi e sempre será o seu principal objetivo. Otimizar, rentabilizar e aperfeiçoar o despiste e controlo de falhas, reduzir custos e garantir níveis elevadíssimos de fiabilidade e disponibilidade fazem parte do ADN desta empresa.

O aumento de fiabilidade e consequentemente disponibilidade dos veículos EuroTram, da frota da Metro do Porto, baseado num aumento de eficácia e eficiência, é um dos assuntos fundamentais a serem tratado nesta dissertação. Para tal, foi decidido implementar a metodologia de análise de manutenção RCM, iniciada pelo estudo de dois sistemas, o de portas e o de freios.

O sistema de portas foi o primeiro a ser analisado pelo RCM pois, além de ser um sistema simples que possibilita uma boa introdução e aprendizagem ao método, é um sistema bastante requerido devido ao elevado número de ciclos que realiza durante um serviço sofrendo, por conseguinte, bastante desgaste e, também, por ser um sistema que está em contacto direto com o passageiro e que faz parte da segurança operacional.

Os freios são o segundo sistema analisado pelo método RCM, devido à sua particular complexidade e criticidade nos veículos EuroTram e por ser um dos sistemas que mais compromete a disponibilidade da frota. Ambos, condicionam, em grande parte dos casos, a circulação do veículo, obrigando o veículo a sair de linha comprometendo a fiabilidades e confiança do serviço. Devido à pandemia e complexidade do sistema não foi possível terminar a análise sendo apenas abordado o sistema Hidráulico.

Esta análise foi efetuada a meio de vida da frota EuroTram, o que apesar de ser uma vantagem por já serem conhecidas diversas falhas e seus modos, este tipo de análise deve ser realizado no processo de projeto e compra dos veículos de modo a permitir uma otimização desde o primeiro dia.

Deve também ser executada, no processo de anteprojecto e projecto, uma análise RAMS (*Reliability Availability, Maintainability and Safety*), a qual foi realizada na compra do veículo e onde se encontra o estudo da segurança, da manutenibilidade, da fiabilidade e do LCC (*Life cycle cost*) que o ativo terá durante a sua função ao longo do seu ciclo de vida

1.2 Objetivos

Os objetivos desta dissertação assentam na aplicação da metodologia RCM aos sistemas anteriormente mencionados e análise dos impactos desta na CP empresa e nos ativos sob gestão, e também, consequentemente, no aumento do conhecimento e do contacto com a manutenção, gestão, operação e logística ferroviária. Consiste ainda na elaboração e melhoria dos planos de gestão de falhas e dos planos preventivos de manutenção com o intuito do aumento de fiabilidade e disponibilidade em toda o ciclo de vida do ativo. Os elementos propostos para análise são o sistema de portas e freios da frota EuroTram.

Para a realização da análise referida acima é necessário:

- Analisar e compreender o funcionamento dos sistemas a estudar
- Identificar modos de falha, os seus efeitos e a suas consequências
- Selecionar os modos de falha mais críticos
- Identificar as causas que levem a esses modos de falha
- A criação de um FMEA
- Implementar novas metodologia e novos planos de manutenção

Além do estudo, análise e implementação do RCM é necessário considerar e operacionalizar as alterações feitas por esta metodologia. Ao longo deste percurso foram encontradas ou redescobertas falhas, algumas das quais foram deixadas para segundo plano, sendo aqui propostas algumas soluções.

1.3 Estrutura da dissertação

A presente dissertação encontra-se dividida em 10 capítulos.

O primeiro capítulo tem como objetivo fazer uma pequena introdução à manutenção e apresentar algumas das suas características. Tem também o intuito de fazer a apresentação dos objetivos, desafios e vantagens da implementação de uma metodologia como o RCM. Ainda no primeiro capítulo é feita uma pequena descrição da estrutura e organização da dissertação.

O segundo capítulo consiste em caracterizar a empresa, a sua história e o seu contexto operacional. Neste capítulo é também descrito o meu envolvimento e experiência na empresa.

O capítulo número três é composto por uma revisão de literatura, tendo os seus primeiros passos incidência na gestão de manutenção de ativos e numa introdução à manutenção e seus indicadores mais utilizados e normas características do sector ferroviário. São também caracterizadas algumas ferramentas de análise estatística, de fiabilidade e funções e modos de falha.

No quarto capítulo é feita uma introdução as normas ferroviárias RAMS e análise e controlo de custo LCC.

O quinto capítulo baseia-se na apresentação da metodologia RCM e das suas características.

O capítulo número seis é composto pela descrição, caracterização e contextualização do veículo EuroTram.

No sétimo capítulo é apresentado e caracterizado brevemente o sistema de portas. Neste são apresentados os componentes mais relevantes e as suas funções.

O sistema de freios é introduzido, no oitavo capítulo, através de uma descrição resumida dos tipos de frenagem e das suas características e dos componentes de maior importância e impacto de serem analisados.

No capítulo seguinte, nono, é apresentada toda a implementação feita ao nível dos FMECAs.

O décimo capítulo apresenta uma conclusão de todo este trabalho contém algumas indicações de trabalhos futuros a serem realizados pela CP.

2 Caracterização da organização e história

A inauguração dos caminhos de ferro em Portugal deu-se a 28 de outubro de 1856 com a realização da primeira viagem entre Lisboa e o Carregado. Em 1860 deu-se a primeira viagem para Badajoz, Espanha.

A empresa, com o nome inicial de Companhia Real dos Caminhos de Ferro Portugueses, mudou em 1910, após implementação da República, para Companhia dos Caminhos de Ferro Portugueses.

Após a 2ª Guerra Mundial e, aliado à fraca capacidade económica da altura, foi necessário nacionalizar a companhia, mudando novamente de nome para Caminhos de Ferro Portugueses.

Esta empresa sofreu novamente grandes alterações em 1977, quando lhe foram retiradas as funções de gestão sobre a infraestrutura e entregues à nova entidade, REFER (Rede Ferroviária Nacional), e retiradas as funções de manutenção sobre os veículos, entregues à EMEF (Empresa de Manutenção de Equipamento Ferroviário) em 1992 (empresa de manutenção ferroviária detida integralmente pela CP,E.P), ficando apenas com a exploração dos serviços ferroviários.

Em 2009, o nome da empresa é modificado para Comboios de Portugal, E. P.E. Em 2015 a REFER é fundida com a EP, Estradas de Portugal, e dá-se a criação da IP, Infraestruturas de Portugal. No final de 2019 a CP volta a incorporar a EMEF como prestador interno de manutenção, motivado pelas regras de concorrência da União Europeia.

Relativamente à manutenção dos comboios da CP, até 2019, era feita pela EMEF SA, empresa de manutenção de equipamento ferroviário, empresa do universo CP e qualificada para intervenções de reparação, modernização e reabilitação de material circulante, bem como para a prestação de manutenção ligeira, manutenção preventiva, condicionada e corretiva de material circulante. Além disso, a EMEF desenvolvia também atividade de conceção e desenvolvimento de projetos ligados à tecnologia ferroviária.

A EMEF é constituída pelos parques oficiais de Guifões, onde operam para a CP e Metro do Porto, pelo parque oficial Norte, pela UMAV (Unidade de Manutenção Alta Velocidade), pelo Parque oficial Centro de Unidades Rotáveis, pelos Serviços Centrais e pelo Parque Oficial SUL.

2.1 Ambientação e envolvimento na empresa

O desenvolvimento desta tese de mestrado ocorreu em ambiente empresarial nas instalações do parque oficial Norte, de Guifões, da CP Comboios de Portugal. Durante os meses de março, abril e parte de maio, os desenvolvimentos das atividades presenciais inerentes à realização da tese foram fortemente condicionados pela pandemia do Covid19.

A CP é uma empresa única em Portugal com características muito próprias do sector onde opera e com muitos anos de experiência e um *Know how* muito relevante. Além de ambicionar prestar um serviço de qualidade, preza-se por querer e ter os melhores técnicos, em diversas áreas, a trabalharem para esta. São estas as características que tornam esta empresa única, especial e muito capaz e competitiva em relação a muitas outras do sector espalhadas pelo mundo.

A realização da tese nestas condições, permitiu um relevante e enriquecedor contacto com a indústria ferroviária, cuja essência é muito particular e singular, possibilitando a aprendizagem de novos conceitos e conhecimento específico da área, através de inúmeras discussões e visitas aos diversos setores de manutenção da oficina. Além do contacto com a engenharia de manutenção ferroviária, tive também o privilégio de conhecer as áreas técnicas, de gestão e operação.

Foi também possível observar diversas intervenções e variadas operações sobre um conjunto alargado de materiais e componentes nas suas diversas fases de reparação, substituição ou montagem.

As duas áreas que em que se proporcionaram mais contactos foram a secção de Hidráulica, onde tive a oportunidade de observar e estudar componentes envolvidos no freio hidráulico e de acompanhar diversos testes de performance, e a secção das linhas de manutenção, onde são realizadas as intervenções periódicas e sob condição ao sistema de portas, algumas delas corretivas devido a avarias ou saídas de linha.

Tive ainda o privilégio de integrar a equipa de RCM, facilitada pelo Engenheiro Nogueira Cavaleiro, que conduziu toda a análise aos sistemas de portas e freios. Nestas reuniões pude aprender sobre a metodologia e racional intrínseco a esta análise, mas também obter relevante conhecimento sobre veículos ferroviários em geral graças à elevada experiência e saber de todos os intervenientes nas reuniões.

Nas análises efetuadas, foram identificadas quais as falhas mais características do ET e quais os métodos usados na tentativa de as solucionar. Parte destas já tinham sido outrora identificadas, mas apenas algumas foram alvo de alterações tanto ao nível de periodicidades como de reprojetos.

Outro ponto considerado fundamental e que se pretende, em breve, otimizar, é o modo como é registada a informação, tanto de falhas como de ordens de trabalho (OT) e registo de intervenções. 'Como' e 'qual' a informação a recolher é um grande tema a trabalhar e melhorar, sendo este um dos aspetos mais promissores e com maior impacto tanto a nível operacional como técnico.

3 Estado de arte

3.1 Gestão de manutenção de ativos

A norma EN 13306:2010 define a gestão da manutenção como todas as atividades da gestão que determinam os objetivos, estratégias e responsabilidades relativas à manutenção e a sua implementação por meios, tais como planeamento, o controlo e a supervisão da manutenção ou a melhoria de métodos na organização, incluindo aspetos económicos. [3]

Gestão de manutenção pode ser brevemente resumida como planeamento. Neste planeamento estão inseridos todos os aspetos relativo ao ativo, planeamento de tarefas e controlo de stocks como toda a logística e operação envolvidas na manutenção.

Um dos primeiros passos da gestão é traçar objetivos, sendo um deles o aumento do desempenho global da organização, e não a redução de custo ou outros aspetos monetários como se pode julgar à priori. Uma manutenção eficaz pode melhorar uma organização em diversos aspetos sem ter impacto financeiro direto. Isto é, é possível melhorar e otimizar uma empresa a nível de pessoal, escolhendo as pessoas certas para certo tipo de funções, dando-lhes formações e tarefas específicas o que fará com que, naturalmente, se interessem e encarreguem mais do sistema ao qual estão maioritariamente alocadas. A nível organizacional uma manutenção mais estruturada e programada promove áreas de trabalho mais específicas, organizadas e com ferramentas mais especializadas, e consequentemente com melhores resultados operacionais também ao nível do registo, controlo de OT's e intervenções realizadas. Uma manutenção melhor organizada permite um maior controlo das atividades e do LCC, por maior conhecimento do histórico de cada ativo. [1]

Fica ao cargo da gestão da manutenção a adoção de indicadores apropriados para medição dos objetivos estabelecidos e controlo destes. Esta utiliza métricas estabelecidas para aferir o seu desempenho, identificar tendências, efetuar comparações e eleger e controlar ações de melhoria que são componentes essenciais da gestão mais moderna - “Só se gere o que se mede”. [4]

3.2 Manutenção

Manutenção - Pode ser vista como uma combinação de todas as ações técnicas, administrativas e de gestão, durante o ciclo de vida de um ativo, destinadas a mantê-lo ou a repô-lo num estado que possa desempenhar a função requerida. [3]

A manutenção sofreu, ao longo dos anos, uma grande evolução devido à complexidade, diversidade e consciencialização da relação qualidade-custo de bens e da segurança e meio ambiente. Nos últimos vinte anos pode ter evoluído mais que qualquer outra componente da gestão [1].

Desde os anos 30 até á data, a manutenção pode ser dividida em 4 grandes períodos. Na 1ª geração, considerada até á segunda guerra mundial, os sistemas eram simples e sobredimensionados, pouco mecanizados, de baixo automatismo e sem necessidade de elevada disponibilidade; sendo assim uma manutenção puramente corretiva (intervenção após avaria).

A segunda geração, contemporânea da segunda guerra mundial, obrigou a um aumento da necessidade de bens e a um crescente automatismo da indústria o que levou, conseqüentemente, a uma maior dependência da capacidade de produção da indústria, tendo surgido, pela primeira vez, a manutenção preventiva.

A terceira geração, inicia-se em meados dos anos 70, e é definida pelo aumento de automatização, aumentos da produção, crescimento da exportação e um aumento significativo da qualidade de produtos e serviços. [1]

A quarta geração da manutenção, conhecida como a segunda revolução industrial, consiste numa alteração de todos os aspetos relativamente às gerações anteriores. Esta atual geração não muda apenas 'o que fazemos', mas também 'a forma como o fazemos'. Estas inovações aliadas às necessidades de qualidade crescentes levaram a todo este processo evolutivo. Processo tal que irá destruir muitos postos de trabalho tradicionais, mas que com formação e nova educação, deverá criar outros tantos mais especializados. [5]

Todas estas gerações podem-se encontrar descritas na tabela seguinte:

Primeira Geração		Segunda Geração		Terceira Geração		Quarta Geração	
Arranjo após avaria		Revisões gerais programadas		Monitorização de condições		Monitorização contínua	
		Sistemas de planeamento e controlo do trabalho		Projeto baseado em fiabilidade e manutibilidade		IoT	
		Computação e sistemas mais lentos		Análise de risco		Interconectividade	
				Computação mais compacta e rápida		Mobilidade de aparelhos manuseáveis	
				Sistemas especialistas		Estratégias renováveis	
				Versatilidade e trabalho em equipa		Análises preditivas	
				Modos de falha e análise de efeitos		Certificações e normalizações	
1940	1950	1960	1980	1990	2000	2010	2020

Tabela 1: Gerações da Manutenção (adaptado de Moubay) [1,5]

A quarta geração guiar-nos-á a uma melhor produtividade, segurança, qualidade e fiabilidade. Entre diversos fatores existem dois dos quais tem todo o interesse a sua aplicabilidade à gestão de manutenção, sendo eles:

- Hiper conectividade de sistemas com a capacidade de recolherem, armazenarem e enviarem informação em tempo real
- Análise de grandes quantidades de informação (*BigData*) através de supercomputação

Isto levamo-nos à Indústria 4.0, considerada a base de toda a atual “revolução”, baseada em três grandes áreas: Inteligência de produto, de processo e de sistemas. Este último é caracterizado pelo *focus* no desempenho de sistemas e em aplicações de antecipação de falhas, deteção de perdas de qualidade e fiabilidade e por fim na necessidade de implementação de

manutenção preventiva. Contudo, o uso mais prominente desta área é, sem dúvida, a manutenção preditiva, pois permite uma análise e conhecimento do estado de cada componente de forma a dar capacidade de decisão atempada - estas falhas podem ser evitadas ou, pelo menos, significativamente reduzidas.

A manutenção preditiva é considerada uma das aplicações mais cruciais para *Data-Analysis*. A recolha de *BigData* em diferentes fases de operação, análise e armazenamento permite a realização de um histórico muito mais útil e completo. Permite também aos sistemas “auto” aprenderem, preverem falhas, fazerem diagnósticos e acionarem a manutenção usando dados históricos, conhecimento do domínio e dados em tempo real através de dispositivos IoT (*Internet of things*). [5;6]

Este tipo de manutenção tem grande aplicabilidade à indústria ferroviária. É essencial, tanto para a manutenção como para a operação, poder monitorizar uma grande quantidade de eventos, como por exemplo:

- Alterações de estado de rodas e carril,
- Mudanças de temperatura, de velocidade e de pressão
- Falhas de controlo e conectividade,
- Controlo e contagem de quilómetros,
- Ciclos e atuações de diversos componentes,
- Localização e velocidade do veículo em cada instante.

Esta informação contém dados vitais ao contrário de muita informação mal registada por diversos fatores, como por exemplo a falha no cruzamento da informação entre a parte técnica e parte da logística e operação. É necessário ter os melhores dados possíveis de forma a tomar as melhores decisões sobre estes. [6]

Independentemente destes objetivos, a manutenção deve assegurar em primeiro lugar a segurança, de todos os intervenientes e do sistema em si; a qualidade, para que se reduza o número de intervenções pouco eficientes e pouco eficazes diminuindo assim o número de defeitos, desvios e o número e períodos de paragem por avaria; e o controlo de custos, de forma a que seja economicamente eficiente e que garanta o máximo de disponibilidade do produto. [4]

Uma proporção correta e equilibrada de todos os objetivos da manutenção é de grande dificuldade. Estas variáveis por vezes vão ao encontro de outras ou contribuem mesmo de forma desfavorável. Por exemplo, um aumento de qualidade pode, por si só, provocar aumento de

custos e de complexidade, que conseqüentemente promovem um aumento de manutenção e necessidade de controle.

Plano de manutenção - é um conjunto estruturado de tarefas que compreendem as atividades, os procedimentos, os recursos, e a duração necessária para executar a manutenção.
[3]

Exemplos de atividades de manutenção: Inspeção, teste de funcionamento, revisão, reparação, reparação temporária, melhoria, modificação e manutenção de rotina são as atividades principais realizadas pela manutenção.

3.2.1 Tipos de manutenção

Dentro da manutenção propriamente dita existem diversas maneiras, com diferentes objetivos e filosofias, de abordar os problemas, falhas ou avarias de um sistema.

A manutenção tanto pode ser programada como não programada. A escolha depende tanto das consequências das falhas como na viabilidade e capacidade de realização de cada um dos tipos de tarefas.

Manutenção Preventiva: operação realizada com o objetivo de antecipar e evitar avarias ou perdas de função. Esta pode ser **sistemática**, que é realizada em certos intervalos de tempo, quilómetros, ciclos ou noutra medida. Ou **condicionada**, sendo realizada, em sistemas ou componentes que apresentam défice de condições, através de inspeções, controlo de funcionamento ou monitorização e antes de ter ocorrido a falha ou perda de capacidade. Afições, limpeza e substituição de componentes degradados são tarefas que normalmente se realizam por estes não se encontrarem a 100%, estado que pode reduzir bastante a rentabilidade. [3,4]

A manutenção preventiva condicionada consegue melhorias extraordinárias em relação a grande parte das intervenções sistemáticas devido à redução significativa do número de avarias e melhorando o planeamento e programação das intervenções. Permite também a redução em cerca de 50% de custos e avarias e o aumento de 30% de tempo de vida e produtividade. [1]

Manutenção preditiva - manutenção condicionada efetuada de acordo com as previsões extrapoladas da análise e da avaliação de parâmetros significativos da degradação do ativo. [3]

Manutenção Corretiva – Intervenção que pode ser programada ou não e apenas realizada após avaria ou perda de função. Esta avaria pode ser intrínseca ou extrínseca consoante a causa seja o próprio equipamento ou devido a razões externas, respetivamente. [3]

Melhoria - Vertente de manutenção onde são realizadas alterações/substituições com o intuito de melhorar o sistema original. É vista como um passo seguinte à manutenção condicionada. Esta melhoria pode ser efetuada a diversos fatores como emissões de gases, ruído, melhoria de acesso, redução de manutenção, entre outras. As melhorias devem também ser aplicadas a sistemas antigos por já não cumprirem o normativo legal ou já não cumprirem

requisitos ou normas atuais. Este tipo de intervenções dá-se também em sistemas que se encontrem ou caminhem para um estado de obsolescência. [4]

A expressão “Mais vale prevenir do que remediar” nunca foi tão aplicável. Existem diversos factos e números que comprovam que uma manutenção preventiva é em tudo melhor que uma corretiva (nomeadamente quanto a indisponibilidade dos equipamentos, horas de ocupação oficial, custo HH custos energéticos e ambientais).

Na figura 1 encontra-se demonstrado esquematicamente os tipos de manutenções possíveis de realizar.

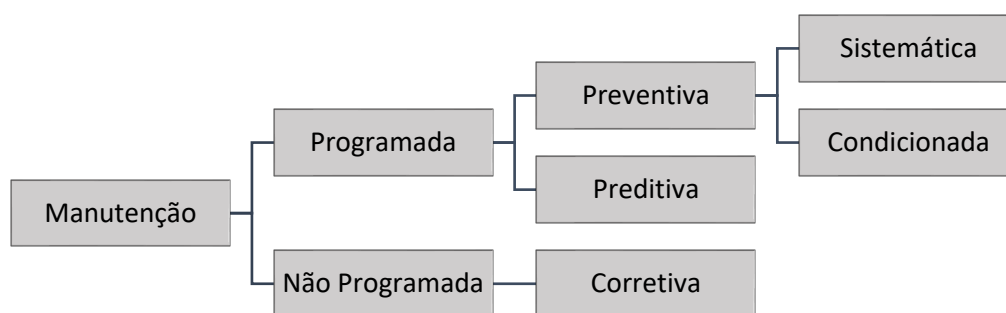


Figura 1: Tipos de Manutenção

Ainda relativamente á manutenção existe uma definição que caracteriza a capacidade de realização de qualquer tipo de manutenção sendo ela a manutibilidade.

Manutibilidade - Aptidão de um ativo, sob condições de utilização definidas, ser mantido ou repostado num estado que possa cumprir uma função requerida depois de lhe ser aplicada manutenção em condições determinadas, utilizando procedimentos e meios prescritos. Pode ser expresso como a facilidade com que um equipamento pode ser mantido. Além disso esta é uma propriedade suscetível de melhoria. [3]

3.3 Função

Função - função ou combinação de funções consideradas necessárias para um ativo cumprir o serviço para qual foi exigido. Um ativo pode ser definido como qualquer elemento, sistema, aparelho, unidade funcional ou equipamento que possa ser considerado individualmente. [3]

As funções, segundo Rausand e Hoyland [7], são caracterizadas e distintas como:

Funções essenciais - funções necessárias para cumprir o objetivo principal do sistema funcional. Estas funções refletem as razões para instalar tal sistema e, muitas vezes, o seu nome é refletido no sistema pela função que tem, como por exemplo, a função da bomba de óleo é bombear o fluido em questão.

Funções auxiliares - Estas são funções requeridas para a função essencial poder ser executada. Normalmente estas funções são menos óbvias que os essenciais, mas, muitas vezes, podem ter a mesma importância, sendo que falhas de funções auxiliares podem ter consequências mais graves, como por exemplo, uma função auxiliar da bomba de óleo é conter o fluido e no caso de falha, pode ter consequências mais graves do que a falha da função essencial.

Funções de proteção - Estas funções são projetadas com o intuito de proteger pessoas, equipamentos e o ambiente, de danos ou acidentes. Estas podem ser classificadas como:

- Funções de segurança - prevenir eventos acidentais ou reduzir danos a pessoas ambiente ou equipamentos;
- Funções ambientais - funções contra eventos ou acidentes poluidores;
- Funções higiénicas;

Funções ocultas - são aquelas cuja falha apenas se tornará evidente quando seja solicitada ou que ocorra outra falha. [1] Este tipo de falhas dá-se sobretudo em sistemas de segurança ou que contenham componentes redundantes. Qualquer manípulo de emergência, extintor, disjuntor ou outro componente onde a sua atuação é apenas em circunstâncias onde algo correu mal, o seu estado será unicamente testado e verificado quando for exigida a sua disponibilidade, podendo este estar indisponível muito antes de ser solicitado.

Disponibilidade - aptidão de um ativo para estar em estado de cumprir uma função requerida em condições determinadas, em dado instante ou durante determinado período, assumindo que é assegurado o fornecimento dos necessários meios exteriores. Esta aptidão depende da fiabilidade, manutibilidade e da sustentabilidade da manutenção.

3.4 Fiabilidade

Fiabilidade - aptidão de um sistema para cumprir uma função requerida sob determinadas condições durante um certo intervalo. [3]

É esperado que um equipamento possa cumprir as funções para as quais foi projetado. Estas expectativas de função e disponibilidade são cumpridas consoante o nível de fiabilidade desse componente. Quando a fiabilidade é baixa, este irá estar muito tempo indisponível ou ficará diversas vezes inutilizável por ceder à sua função. Existem funções de fiabilidade que medem a capacidade de um sistema operar, sem falhar, num determinado período.

Inevitavelmente, o aumento de número, custo e complexidade dos sistemas fez com que a exigência sobre os índices de fiabilidade também aumentasse, assumindo assim uma posição de relevo dentro da manutenção e da qualidade. Um sistema complexo composto por diversos subsistemas não pode ficar dependente apenas de um subsistema com índices de fiabilidade inferiores, pois este irá colocar toda uma operação em causa. Outro aspeto a ter em conta é que a baixa fiabilidade irá também afetar a qualidade e segurança de toda a operação envolvente.

O aumento da fiabilidade em sistemas pode ser atingido pelos seguintes objetivos:

- Através de diversos tipos de *Know-how*, prevenir ou reduzir a ocorrência, o número e a frequência das falhas e seus efeitos.
- Identificar e corrigir as falhas
- Perceber de que forma algumas falhas são inviáveis de corrigir e, por isso, ter de operar com elas. Muitas delas são de complexidade elevada ou de custo elevado com pequenos impactos funcionais ou operacionais.
- Reunir toda a informação e histórico de falhas e avarias e avaliar através de métodos estatísticos os índices de fiabilidade e decidir sobre estes.

Matematicamente a fiabilidade é definida pela função $R(t)$ que representa a probabilidade de sucesso para um ativo num intervalo $(0, t)$. A probabilidade de falha é, logicamente, o complemento desta [8]:

$$F(t) = 1 - R(t)$$

A função densidade de probabilidade, $f(t)$, é a derivada da função $F(t)$, e mostra a frequência de falhas que podem ocorrer num determinado intervalo de tempo.

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt}$$

Finalizando as definições matemáticas mais básicas é importante considerar a função de taxa de falha, $z(t)$, que indica a probabilidade de um sistema falhar no intervalo de (t) a $(t) + \Delta t$.

$$z(t) = \frac{f(t)}{1 - F(t)}$$

3.4.1 Curvas de degradação

Muita da fiabilidade atribuída a componentes e sistemas baseia-se na confiança que se tem no comportamento destes. Atualmente essa fiabilidade não pode ser baseada na confiança empírica do estado das coisas, mas também em informação histórica e métodos estatísticos.

Nolan e Heap apresentaram, em 1978, no seu documento de RCM (UAL) seis curvas características do comportamento probabilístico à falha de cada componente ao longo do tempo. Eles provaram também que uma manutenção eficaz apenas é conseguida quando todos os modos de falha são conhecidos e mensurados em termos de probabilidade de ocorrência e de consequência. [9,10,11]

As curvas apresentadas no documento mencionado anteriormente foram as seguintes:

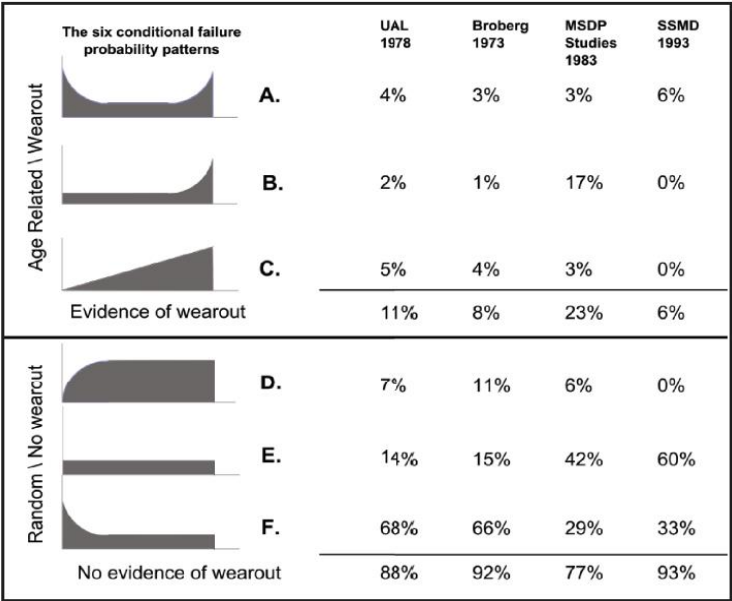


Figura 2: Curvas de Degradação [11]

Cada uma destas curvas é composta por três regiões: início de vida, vida útil e fim de vida.

O tipo de curva é principalmente definido pelo tipo de componente: elétrico, mecânico ou conjunto de sistemas, e pelo seu contexto operacional. O mesmo componente à beira-mar ou num ambiente protegido, ou o mesmo componente com um tempo requerido de 8 horas diárias em vez de 23 horas diárias não terá o mesmo comportamento. Existem também componentes reparáveis e não reparáveis.

A curva “A”, curva da banheira, é mais aplicada a conjuntos onde a sua gestão de componentes à falha é mais complicado pois, tendo comportamentos diferentes, estes podem induzir outros em erro. [1]

A curva da banheira é um conceito bem conhecido e bastante utilizado pela fiabilidade em engenharia e representa o comportamento de falha de funções de sistemas ou componentes em função do seu tempo de vida.

Esta função, como demonstrado na figura 3, é dividida em três regiões características. Na primeira região, a curva é caracterizada por um grande declive devido à mortalidade infantil. Esta melhora com o tempo devido a correções e alterações, diminuindo assim a taxa de incidências e melhorando a fiabilidade. Muitos equipamentos já são entregues após esta fase, já que são testados e analisados antes de serem entregues ao cliente final. A região seguinte é referida como o período de vida útil, caracterizada por uma taxa de falha constante e controlada onde a fiabilidade está otimizada. A terceira região é conhecida como região final ou de desgaste, onde a diminuição de fiabilidade ocorre devido ao aumento do número de modos de falhas relativos ao desgaste e envelhecimento de componentes, sendo um dos objetivos atrasar ao máximo esta região e controlar custos (LCC). [11]

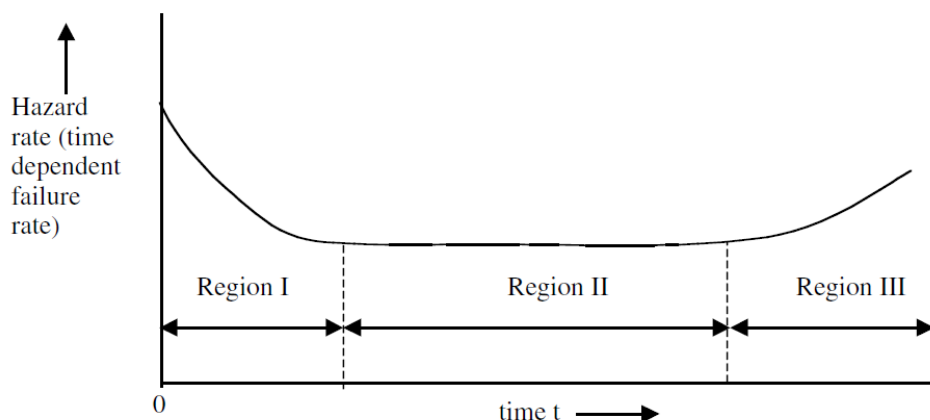


Figura 3: Curva da Banheira [11]

A curva “E” e “F” são curvas mais características de sistemas eletrônicos onde a falha é maioritariamente aleatória, enquanto a curva “B” caracteriza melhor os sistemas mecânicos. Este tipo de curvas é característico de componentes reparáveis e que ao fim de muito experiência e conhecimento levam ao domínio das falhas e é evitada a deterioração final. Nenhum destes componentes sofre de obsolescência.

Um dos objetivos da manutenção está na identificação correta de cada curva e dos pontos potenciais de falha.

As primeiras curvas, A B e C, são características de sistemas com vidas úteis bem definidas enquanto as restantes dão-se mais para sistemas onde a falha é aleatória.

‘Qual será o comportamento de cada componente durante o seu ciclo de vida?’, ‘O comportamento verificado será mesmo o comportamento real deste componente ou o seu contexto operacional ou algum defeito de fabrico, montagem ou manutenção induziu algum erro?’, ‘Será possível devolver o estado de quase novo a um componente após uma intervenção neste?’ - A resposta a estas perguntas não é unânime nem tão pouco fácil. Faz parte do trabalho da manutenção arranjar soluções válidas e de maior proximidade à realidade, para os problemas apresentados.

I: Região inicial de falhas	Métodos fabrico de baixa qualidade Fraco controlo de qualidade Uso de materiais menos capazes Erro humano
II: Região período estável	Erros humanos Abusos ao sistema Falhas naturais Esforços excessivos
III: Região desgaste	Fraca manutenção Corrosão e deformação Designs e projetos de vida curta Envelhecimento geral

Tabela 2: Caracterização das regiões da curva e possíveis razões de falha [11]

Vida útil - intervalo em condições determinadas que se inicia num determinado instante e termina quando taxa de avarias assume valores inaceitáveis, ou quando o ativo é considerado irreparável na sequência de uma avaria ou por outras razões. A vida útil pode também ser determinada ou planeada, por exemplo pelo desempenho do ativo. [3]

Taxa de avarias: número de avarias ocorridas num ativo durante determinado intervalo de tempo dividido por esse intervalo de tempo. Este intervalo pode ser temporal ou assumir outros valores como ciclos ou quilómetros. Este indicador apenas faz sentido para longos períodos de análise. [3]

Avaria - Cessação da aptidão de um ativo para cumprir uma função requerida. Depois de uma avaria o ativo fica em estado avariado, total ou imparcial. O termo falha e avaria exprimem um acontecimento enquanto a expressão avariado exprime um estado. [3]

Descontinuidade, obsolescência e abate - No fim de um certo período, normalmente inferior ao período de vida do equipamento, a tecnologia e o próprio apoio do fabricante começam a expirar. Um dos problemas é a identificação prévia destes componentes e acondicionamento, reprojeto ou substituição a tempo. A avaria de um componente de elevada criticidade ou importância pode levar à cessão de funções durante um período demasiado extenso. A fase de obsolescência corresponde ao fim da comercialização desse componente também devido aos custos elevados de continuidade em serviço. [12]

3.4.2 Tarefas

3.4.2.1 *Tarefas pró-ativas*

São tarefas realizadas antes de um sistema entrar em modo de falha. Estas tarefas abrangem o que é normalmente conhecido como manutenção preventiva ou preditiva. O RCM usa os termos manutenção sob condição, descarte programado, e restauração programada.

Tarefas de restauração programada - envolvem a restauração da capacidade inicial de um ativo ou componente num certo período, sem contabilizar o estado em que se encontra. Estas apenas são viáveis se há uma idade identificável de aumento de probabilidade de falha, se a maioria dos ativos sobrevive a esta idade e se recuperam as capacidades aos níveis de origem.

Tarefas de descarte programado - implicam descartar um ativo ou componente após um certo período, independentemente do estado em que se encontra. Estas apenas são tecnicamente viáveis se há uma idade identificável de aumento de probabilidade de falha e se o custo de substituição e período de intervenção for, não só tecnicamente, como economicamente viável.

O intervalo destas tarefas é condicionado pelo aumento da probabilidade de falhas. Os limites de vida, segundo John Moubray, podem ser definidos como limite de vida segura, onde o objetivo é prevenir falhas com consequências ao nível da segurança e ambiente, e como limite de vida económico, em que apenas é tido em conta o custo do ciclo de vida do ativo. [1]

Relativamente às **tarefas sob condição** utilizadas, estas são assim chamadas pois é feita uma inspeção aos ativos deixados sob condição para que continuem a desenvolver os padrões de desempenho desejados. Estas tarefas são também conhecidas como manutenção preditiva. As tarefas sob condição encontram-se em três categorias principais: [1]

- Técnicas de monitorização
- Técnicas de verificação de variação de qualidade
- Inspeções técnicas sensórias (sentidos humanos)

As tarefas sob condição são viáveis se:

- For possível definir uma clara falha de potencial
- O intervalo P-F for minimamente consistente
- For viável monitorizar o sistema em intervalos inferiores ao do P-F

- Se a falha for oculta não ter consequências diretas.
- Tiverem consequências positivas a nível ambiental ou de segurança
- Forem custo-efetivas, nos casos em que não envolvem a segurança

Uma das questões mais pertinentes na aplicação da metodologia RCM é qual das tarefas usar e se realmente devem ser usadas.

3.4.2.1.1 Curva Intervalo P-F

O intervalo P-F é o tempo entre a identificação do início de falha (falha potencial no ponto P) e o ponto onde deixa de ser possível, para o sistema, cumprir a sua função (ponto F de Falha funcional). A curva entre estes dois pontos tem uma ligeira acentuação de declive pois é a fase onde se dá a perda de rendimento ou eficiência por parte do sistema. [13]

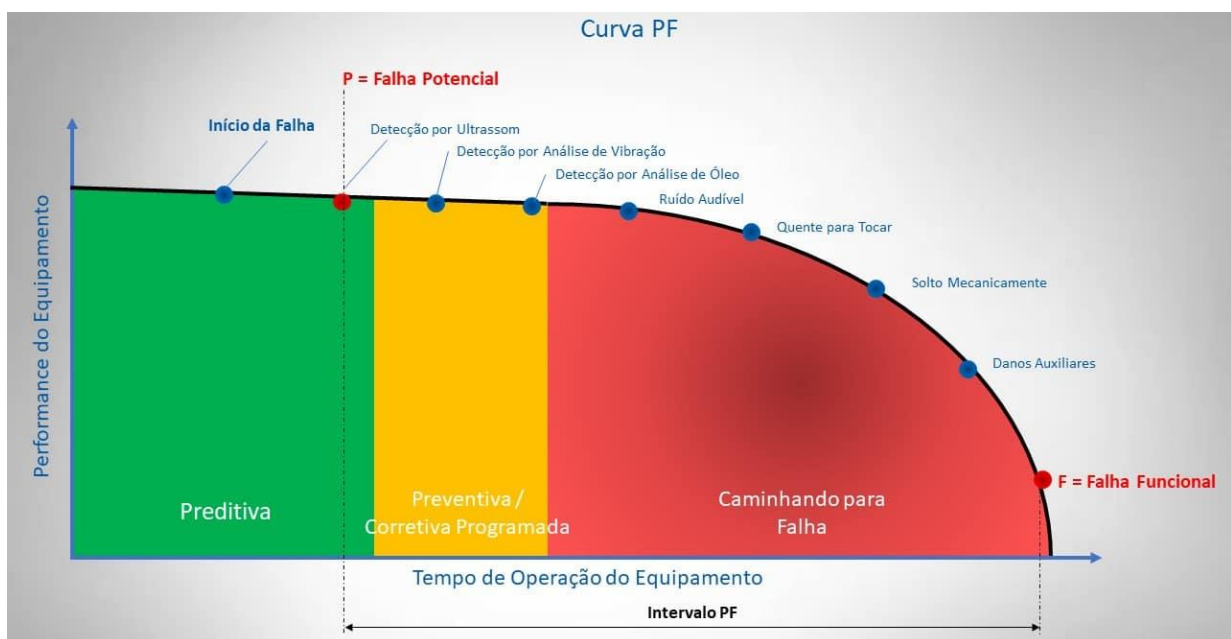


Figura 4: Curva do intervalo P-F

Um dos segredos está na identificação do ponto P o mais cedo possível, de forma a aumentar a capacidade de atuação e preparação. Existem diversas tarefas, designadas tarefas sob condição, para a identificação da falha potencial. Exemplo destas são a extensometria, técnicas holográficas, fotoelasticidade, termografia, análise de vibrações, análise de óleos, magnetoscópica ou ultrassons. Estas tarefas, consoante o seu tipo de análise, permitem encurtar ou aumentar o intervalo P-F e devem ser feitas em intervalos inferiores ao P-F. Existem

casos onde um intervalo P-F curto não tem qualquer impacto, mas existem outros onde a antecipação da falha é crucial. Se desejarmos detetar a falha potencial antes desta se tornar uma falha funcional o intervalo entre verificações necessita de ser inferior ao P-F. Este intervalo, como muitos outros indicadores referenciados anteriormente, pode ser apresentado tanto em tempo percorrido, como em ciclos, distâncias ou noutra unidade adequada ao contexto operacional.

Na prática, pode ser suficiente definir intervalos de frequência de tarefas em metade do intervalo P-F. [1]

Consistência P-F e intervalo residual

O intervalo residual é caracterizado por ser o intervalo mínimo decorrido entre a descoberta da falha potencial (ponto P) e a ocorrência da falha funcional. Este intervalo determina a quantidade de tempo disponível para poder ser tomada qualquer decisão de forma a reduzir ou eliminar consequências da falha.

Relativamente à consistência, esta é muito importante pois nem sempre o intervalo P-F se mantém constante. Em alguns casos a variação pode ser muito grande e introduzir erros significativos na gestão de manutenção. Nestes casos um intervalo de tarefas substancialmente menor deve ser selecionado, de forma a detetar falhas potenciais dentro de um período viável. Se o intervalo P-F for muito inconsistente e não for possível definir um intervalo de tarefas razoável, então é sugerida a mudança de atuação nesse modo de falha.

Resumindo, a janela P-F nem sempre é estável ou certa. Componentes que sofram desgaste apenas pela idade ou uso, são de fácil perceção da taxa de degradação e de identificação do ponto P, com posterior intervenção antes de se atingir o ponto F. Por outro lado, sistemas com falhas aleatórias durante a operação ou, por falhas devido a stresses excessivos introduzidos pela operação, o plano de retificação passa pela remodelação do plano de intervenção. Uma vez mais, a vantagem da manutenção preventiva sobre a corretiva dá um tempo extra para planeamento de intervenção antes da falha ocorrer. [1]

3.4.2.2 Ações default

São ações que permitem resolver estados de falha, sendo escolhidas quando não é possível identificar uma tarefa pró-ativa eficaz. As ações *default* incluem a **procura da falha**, a partir de verificações periódicas de funções e funções ocultas para verificar se estas falham, em **reprojeto**, onde são feitas alterações de hardware ou software, ou mudanças de metodologias ou procedimentos e **nenhuma manutenção programada** (por vezes *wait and see*) onde o esforço de antecipar ou prever é tecnicamente inviável ou a relação de custos não o permite. O “wait and see” ou “esperar para ver” apenas é realizado a componentes que não se saiba a sua esperança de vida e que não tenham falhado até agora, sendo estes também caracterizados por falhas aleatórias.

Relativamente às tarefas de busca de falha, estas caem fora do âmbito da manutenção preditiva, preventiva ou corretiva e são realizadas com o intuito de verificar se algumas funções, por norma ocultas, estão operacionais ou não. A sua frequência de realização depende de duas variáveis: qual a disponibilidade desejada e qual a frequência de falha do ativo ou componente. Pelo contrário, cada uma das tarefas de manutenção preventiva e preditiva são baseadas em apenas uma variável, intervalo P-F e vida útil respetivamente.

A sua viabilidade depende de:

- Ser possível realizar a tarefa
- A tarefa não aumenta o risco de falha
- Ser prático realizar a tarefa no tempo determinado

O intervalo da tarefa de busca de falha, FFI, apoia-se nos valores de disponibilidade e fiabilidade: [1]

$$FFI = 2 * U_{TIVE} * M_{TIVE}$$

U_{TIVE} = Indisponibilidade

M_{TIVE} = MTBF do dispositivo de proteção

Esta tarefa apenas é viável se for possível realizá-la, se a tarefa não aumenta o risco de falha múltipla e se é viável ou pratico realizá-la no intervalo predefinido.

A falha múltipla ocorre em sistemas onde a função principal falha quando o sistema de segurança também falha. [10]

Probabilidade de falha múltipla =

Probabilidade de falha protegida $\times$ Indisponibilidade média do sistema de proteção

Relativamente às fontes de dados para cálculo, tanto do intervalo de busca de falha como de outros indicadores, estes se disponíveis e retirados com exatidão, permitem uma rápida obtenção de resultados. Como muito frequentemente estes dados não estão disponíveis é necessário obter a informação de outras fontes, como por exemplo fabricante, bancos de dados comerciais ou outros utilizadores de equipamento similar. Todas estas fontes são válidas e tem algum sucesso de busca no que toca a sistemas e componentes normalizados. Na indústria ferroviária grande parte das séries de equipamentos, sistemas e veículos são pequenas ou mesmo protótipos, o que dificulta a obtenção de informação. Esta tem de ser obtida através do conhecimento interno da frota. É necessário também perceber que nem todas as falhas ocultas merecem esforço e atenção.

3.5 Disponibilidade

A disponibilidade é um dos grandes assuntos a ser tratado nesta dissertação. Apesar de não ser o primeiro fator sobre o qual se decide, isto é, não ser a primeira preocupação, esta é, sem dúvida, uma grande componente da manutenção e operação e a grande consequência de todas as implementações e atividades feitas em torno da melhoria da manutenção e da sua gestão.

A disponibilidade é, também, uma grande consequência da fiabilidade. Sendo estes dois indicadores, dependentes um do outro e que se influenciam de forma significativa

Como referido anteriormente, o grande objetivo da manutenção é manter os sistemas a cumprirem a sua função pelo maior período possível, quando este não é tangível, que a sua paragem e reparação seja a mais curta, barata e com as menores consequências possíveis. Para isso é necessário recorrer a indicadores que nos transmitam quantitativamente os períodos respetivos a cada passo de funcionamento e paragem do sistema. A disponibilidade tem não só a capacidade de nos indicar, na realidade, o tempo possível de operação caso este seja necessário, como também através dos seus valores se podem tirar algumas conclusões acerca da eficiência e capacidade da manutenção

Este é muitas vezes dos indicadores mais relevantes e ao qual se dá mais importância na operação e também dos principais a serem detalhados e a serem requisitados em avaliações internas, pois indicam, resumidamente, como se encontra o ativo em termos de fiabilidade e de capacidade da manutenção.

A função disponibilidade pode ser definida como: [12]

$$Disponibilidade = \frac{Tempo\ disponivel}{tempo\ disponivel + tempo\ indisponivel}$$

Considerando o MTBF e o MTTR pode ser definida da seguinte maneira:

$$Disponibilidade = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

Em que:

MTTR = tempo médio de reparação (*Mean Time To Repair*)

MTBF= tempo médio entre falhas (*Mean time between failure*)

MTTR – Previsão matemática do tempo de reparação. É um dado, em determinado período, pelo somatório dos tempos de reparação de avarias nesse período dividido pelo número de avarias. [3]

MTBF - Previsão matemática do tempo de funcionamento entre avarias. Representa a média dos tempos de funcionamento entre avarias consecutivas de um equipamento ou sistema. Este indicador é mais utilizado para sistemas que possuam contadores, nomeadamente motores, compressores, ciclos de máquinas ferramentas ou km percorridos por veículos. [3]

$$MTBF = \frac{t_f}{(N_{av} - 1)} \text{ horas}$$

Para períodos suficientemente longos de análise a expressão anterior pode ser simplificada para:

$$MTBF = \frac{t_f}{(N_{av})} \text{ horas}$$

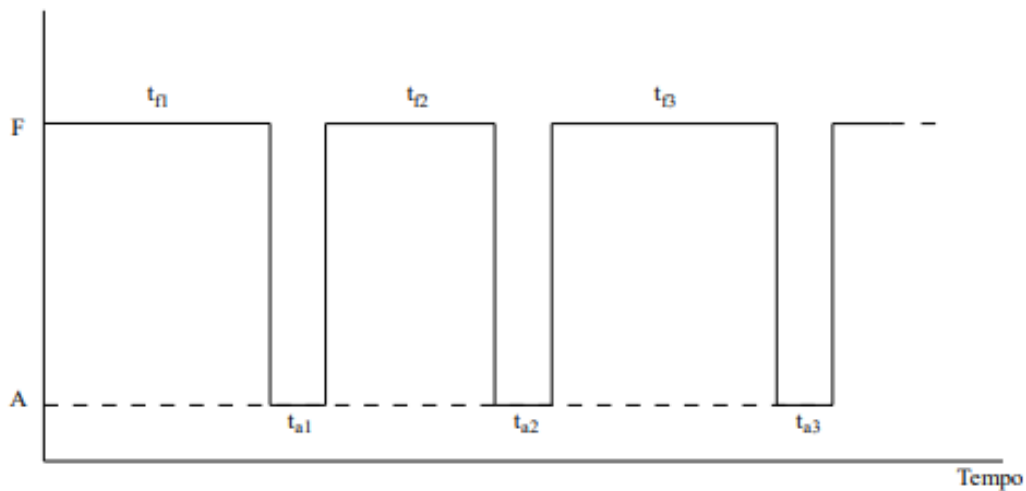


Figura 5: Histórico de funcionamento de um componente [14]

Onde:

F - Estado de funcionamento

A - Estado de avaria

t_f - É o número de horas de funcionamento do ativo, entre a primeira avaria e a última avaria ocorridas dentro do período de análise.

t_a - Tempo de avaria

Nav – é o número de reparações (intervenções corretivas) realizadas no período de análise.

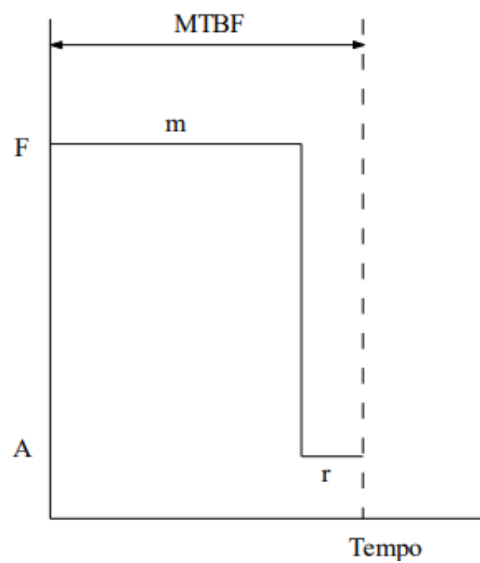


Figura 6: Representação MTBF

Onde:

m – Tempo de funcionamento

r – Tempo de avaria

O grande objetivo da manutenção está em entregar valores de MTBF/MDBF os maiores possíveis e de MTTR os mínimos possíveis.

3.6 Índices

Para a gestão da manutenção, os índices temporais são importantes para a caracterização e avaliação de estados e eficácias. Estes permitem analisar os tempos de paragem para manutenção, tempo entre manutenções, tempo ao serviço, tempo até á próxima manutenção ou até indisponibilidades.

Tempo requerido - Intervalo de tempo durante o qual o utilizador exige que o sistema esteja em condições de cumprir uma função requerida. Relaciona-se com a disponibilidade em que queremos ter um sistema pronto a realizar funções. Podemos desejar ter apenas 8 horas por dia ou 24 horas por dia, com exceção de alguns dias programados para manutenção. Além disso o tempo requerido não pode ser superior ao tempo indicado pelo fabricante, onde, se forem indicadas X horas de manutenção anual é necessário, pelo menos, retirar essas horas ao tempo requerido. [3]

Tempo de funcionamento - é o intervalo de tempo em que o sistema cumpre a função requerida. Não tem de coincidir com o tempo requerido pois este pode se encontrar em repouso/espera para executar uma função. [4]

Tempo de manutenção, TM, é o intervalo de tempo durante o qual se realiza, manual ou automaticamente, uma atividade de manutenção num sistema incluindo os tempos de origem técnica e de logística. [4]

Tempo de manutenção ativa - é o tempo de manutenção com os tempos de origem técnica e logística excluídos. Este é também o tempo de reparação TR. [4]

Período de intervenção - é o tempo que decorre entre o início e fim de um trabalho de manutenção. [4]

Indisponibilidade por avaria - é o intervalo de tempo durante o qual um sistema está em estado de indisponibilidade. Para este tempo contribuem os períodos em que o ativo permanece avariado, período de reparação ou a sofrer manutenção planeada. Designa-se normalmente por TIM, tempo de indisponibilidade por manutenção. [1,4]

TIA, tempo de indisponibilidade por avaria resulta da presença de uma avaria e sua reparação. É sinonimo de Tempo para restabelecimento e é na prática o tempo que decorre entre o momento em que é declarada a avaria e o momento em que é entregue em condições de cumprir a sua função. [4]

TIP, tempo de indisponibilidade por Manutenção programada é o tempo durante o qual ocorre uma manutenção programada. [4]

Todos estes indicadores podem ser comparados e melhor entendidos na imagem seguinte:

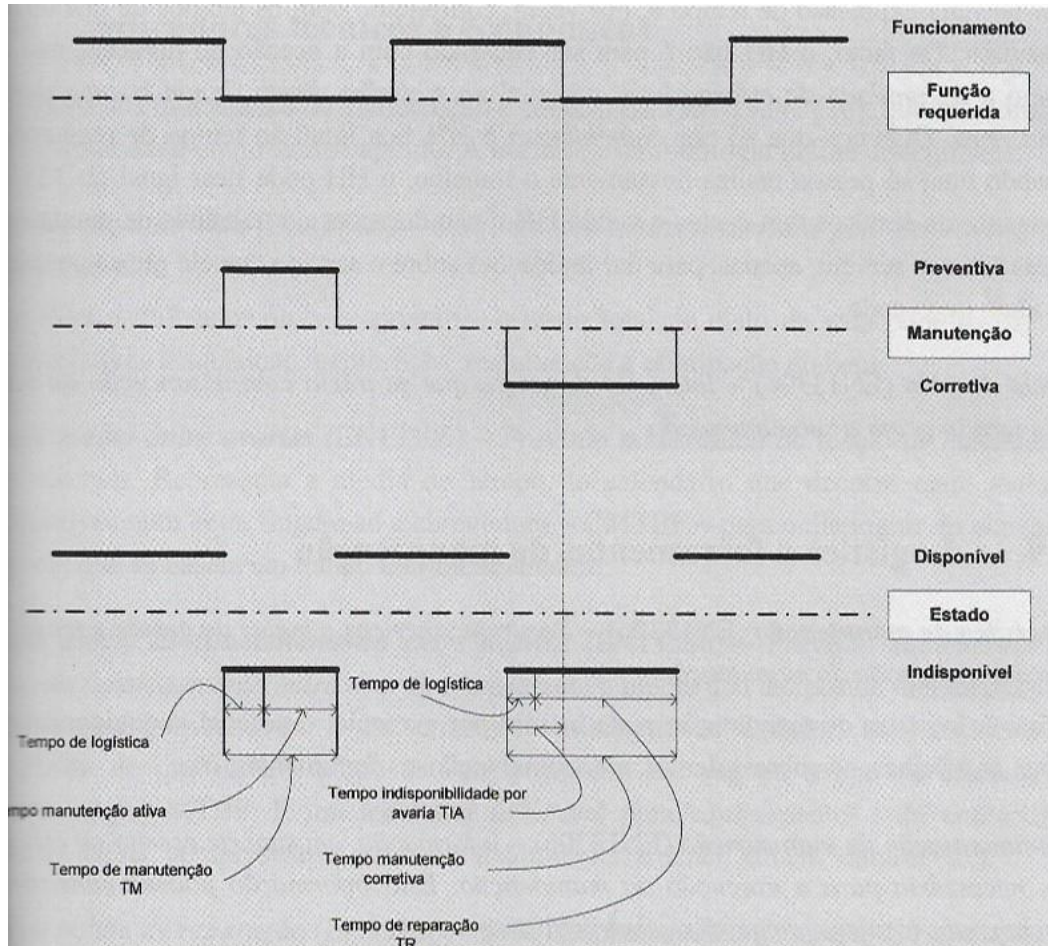


Figura 7: Tempos de Manutenção [4]

Outro indicador importante relativo à manutenção é o Esforço Horas. Homem (HH)-Esforço humano direto expresso em horas homem dedicado á realização de um trabalho.

Tempo médio entre avarias – CMTBF - Previsão matemática do tempo de calendário entre avarias. Representa a média de tempo de calendário que decorre entre avarias num sistema. [3]

A taxa de avarias, caracterizada anteriormente, pode ser calculada em função do calendário ou do funcionamento. [4]

$$\text{- Taxa de avarias de calendário: } \lambda = \left(\frac{Nav}{Tc} \right) * 365 \left(\frac{avaras}{ano} \right)$$

Em que:

Tc - número de dias contido no período de análise igual á diferença entre a data/hora de fim e a data/hora de início, expresso em dias.

$$\text{- Taxa de avarias de funcionamento: } \lambda = \left(\frac{Nav}{TF} \right) * 10000 \left(\frac{avaras}{10000 \text{ horas}} \right)$$

TF – tempo de funcionamento expresso em horas, ou outra unidade expressiva (10 000 horas, 100 000 km, 1 000 000 ciclos, etc.)

Os indicadores a utilizar na manutenção devem interpretar os objetivos estratégicos de gestão de empresa e principalmente para um bom desempenho e utilização destes nunca devem ser utilizados em demasia. A consciência e rigor da informação dos indicadores Chave-Desempenho, ICD, são as componentes mais decisivas para a sua utilização. [4]

3.7 Definição e caracterização de Falhas

Por diversas vezes as palavras falha e avaria são consideradas, na língua portuguesa, praticamente como sinónimos. Falha, **EN 13306:2010 (E)**, está normalmente relacionada com o estado do ativo se encontrar inapto para realizar uma determinada função, excluindo a incapacidade durante manutenção preventiva ou outra intervenção planeada ou por falta de recursos externos. A falha é definida pelo término de uma habilidade de executar a função requerida. A falha é um evento enquanto a avaria é um estado. Após uma falha um ativo tem uma avaria que pode ser completa ou parcial. É também de ter em consideração o estado de falta. Um componente ou sistema pode faltar à função, mesmo encontrando-se em up state sem ser por culpa deste. Por exemplo uma bomba hidráulica deixa de bombear se perder a alimentação ou o fluido por razões externas. (corte na alimentação elétrica ou do fluido) [3]

3.7.1 Modos de falha

Uma vez identificada a falha, o passo seguinte, passa pela tentativa de identificação de todos os eventos que são razoavelmente prováveis de provocar tal falha.

Modo de falha é caracterizada pela maneira com que se dá a incapacidade de um ativo realizar a sua função. EN13306:2010

Para identificar os modos de falha de um sistema é necessário estudar ativo o funcionamento do deste, conhecer os resultados ou outputs de uma determinada função. Alguns outputs são de fácil identificação devido à sua função estar ativo definida, enquanto outros estão interligados com outras funções ou, são secundários, o que dificulta o processo de análise.

Grande parte da lista de modos de falha é composta por falhas relativas ao desgaste normal ou deterioração. Contudo a lista deve conter as diversas razões e tipos de falhas como as sugeridas a seguir: [7]

- Falha de projeto - falha devido a design/projeto inadequado para aquele sistema
- Falha por defeito de fabrico- falha devido á não conformidade durante o processo de manufatura
- Falha por debilidade/má aplicação – falha dum sistema quanto sujeito a esforços superiores àqueles definidos por base de projeto. Esta fraqueza pode ser inerente ou induzida.
- Falha por deterioração/envelhecimento- Falha cuja probabilidade de acontecimento aumenta há medida que o tempo passa.
- Falha por uso incorreto- ocorre devido ao mau uso ou falta de cuidados para com o sistema

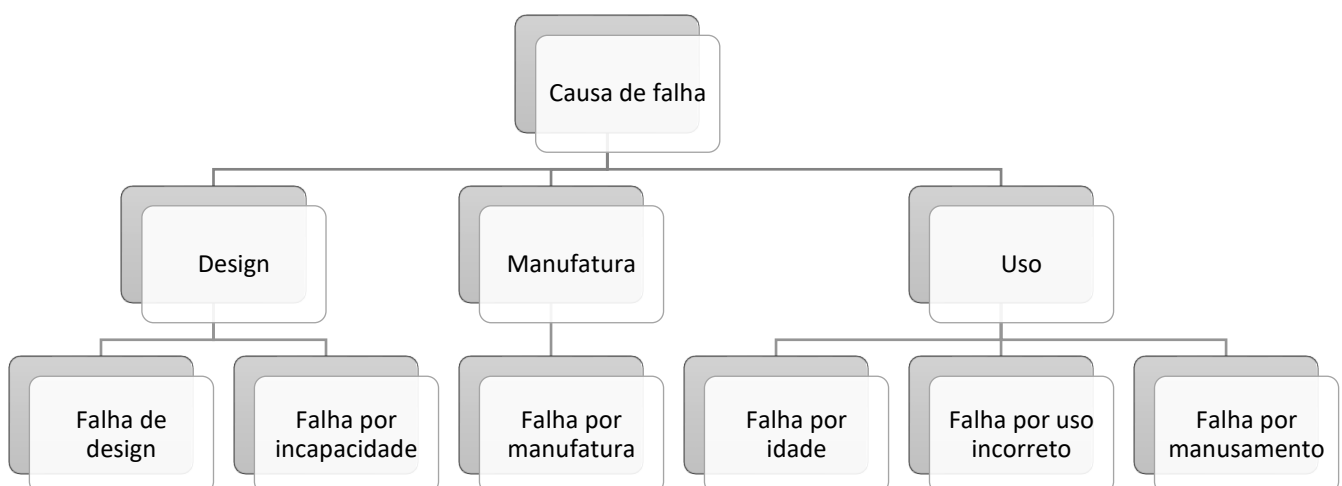


Figura 8: Quadro de causas de modos de Falha [7]

Os mecanismos ou causas de falha podem ser classificados falhas mecânica, térmicas, elétricas, químicas e radioativas. Contudo estes níveis de descrição não são suficientes para se proceder a uma análise suficientemente detalhada. O detalhe de cada causa é importante para que não seja perdido tempo e esforço em vão.

3.7.2 Efeitos da falha

Um dos processos da metodologia RCM consiste na listagem dos efeitos de falhas. A metodologia RCM responde, conforme a norma SAE JA 1012, a pergunta “O que acontece quando cada modo de falha ocorre?” É feita a distinção entre “o que acontece” (efeito da falha) e as consequências da falha. É de elevada importância, para a metodologia que a permite descrever o que acontece em cada modo de falha. As descrições dos efeitos de falha devem incluir todas as informações necessárias de forma a demonstrar que impacto ou que importância tem no seu contexto funcional ou operacional e de forma a auxiliar a avaliação das consequências dessa falha. [10]

Não deve ser confundida causa com o efeito quando se listar os modos de falha.

Na descrição dos efeitos der falha devem ser tidas em contas as seguintes premissas [1,10]:

- Que evidência, se alguma, que a falha tenha realmente ocorrido
- De que modo, se algum, pode ameaçar a segurança do meio ambiente
- De que maneira, se alguma, afeta a produção ou a manutenção
- Que dano físico, se algum, é causado pela falha
- O que precisa de ser feito de forma a reparar a falha

3.7.3 Consequências da falha

Uma análise detalha de um sistema, permite gerar um número de modos de falha muito superior aquele que á primeira vista um sistema pode parecer ter. Estas falhas afetam um sistema ou até mesmo uma organização de maneiras diferentes. Tanto pode afetar a operação, como a logística, a produção, a qualidade, o serviço, a segurança e/ou o meio ambiente.

São estas consequências e a sua importância que fazem com que o interesse em as prevenir aumente. Isto é, para uma falha com consequências severas, o caminho para a eliminar

pode ser custoso e demorado, mas se a consequência for mínima e não tiver nenhum impacto relevante pode até ser descartada de qualquer manutenção preventiva.

A grande vantagem do RCM é que permite uma análise mais detalhada e cuidada de falhas modos de falha e consequências o que permite uma intervenção e um cuidado mais particularizado. É este reconhecimento que permite tomar decisões mais capazes e mais acertadas no que toca a decisão de tipos e períodos de manutenção.

John Moubray, classifica as consequências em quatro grupos [1]

Consequências de falhas ocultas - as falhas ocultas são falhas que podem não ser evidentes para a operação ou manutenção. Não tem impacto direto, mas tem a capacidade de expor o sistema ou organização a múltiplas falhas, normalmente com serias consequências. A maioria destas falhas estão associados a falhas de dispositivos de segurança que não são falha segura. O objetivo de manutenção preventiva a falhas ocultas é a de prevenir ou no mínimo reduzir a probabilidade de falhas múltiplas associadas ao mínimo.

Consequências Operacionais - A falha é considerada operacional quando afetam diretamente qualquer parte do processo produtivo tanto em qualidade como quantidade, serviço ou custos operacionais além do custo de manutenção que advém da falha. Normalmente apenas é realizada manutenção preventiva se o custo for inferior ao custo de perdas operacionais e ao custo de manutenção.

Consequências não operacionais - Falhas evidentes que não afetam produção, organização ou segurança. Nestas falhas, normalmente ocorre apenas o custo de reparação da mesma e, apenas é decidida a realização de manutenção preventiva se o custo de prevenir for inferior ao custo de reparar.

Consequências na segurança e meio ambiente - Uma falha pertence a este grupo se puder ferir ou matar alguém e se for contra qualquer norma, padrão ou legislação ambiental, empresarial ou regional. Neste modo de falha as tarefas preventivas apenas devem ser realizadas se diminuírem a probabilidade de ocorrência a valores muito reduzidos.

3.8 FMEA - Failure modes and effects analysis

A análise de modos de falha e efeitos (FMEA) é uma metodologia qualitativa de fiabilidade traçada de forma a identificar para cada função definida os potenciais modos de falha e caracterizar efeitos associados a cada modo. [12]. Numa análise RAMS ou RCM, a análise FMEA é uma ferramenta poderosa de análise de sistemas e de identificação de subsistemas e modos de falha relevantes.

As razões para a criação de um FMEA são:

- Identificar modos de falha com consequências indesejadas num sistema
- Aumentar a fiabilidade e segurança de um sistema
- Melhorar, se possível, a manutenibilidade
- Cumprir com os requisitos contratuais de manutenção e fiabilidade de um cliente

Para a realização de um FMEA é necessário a identificação e compreensão de todas as funções do sistema a ser estudado no seu contexto operacional. É também essencial a avaliação de todos os modos de falha e respetivos efeitos de forma a poder ser tomada a melhor decisão no passo seguinte ao FMEA. Estimar se possível, dentro de todas falhas funcionais, a probabilidade de ocorrência, a sua severidade e capacidade de deteção. Um FMEA completo é o resultado do trabalho em equipa de indivíduos qualificados e capazes de desenvolver tanto esta análise como caracterizar todo o sistema e os seus limites e avaliar todos os impactos e serem capazes de decidir e avaliar as consequências dessas decisões. Todo este trabalho irá levar a uma folha de informações onde será aplicado todo este conhecimento. [1,27]

A definição do limite para a análise do sistema deve corresponder com o limite definido para o projeto e manutenção. O limite do sistema forma a interface física e funcional entre o sistema e o ambiente onde este se encontra, incluindo outros sistemas com o qual interage.

A operação bem-sucedida de um determinado sistema está sujeita ao desempenho de certos sistemas críticos. Os procedimentos para identificação dos modos de falha, causas e efeitos podem ser efetivamente aperfeiçoados pela preparação de uma lista de modos de falha na folha do FMEA. A identificação de modos de falha, e quando necessários, a determinação de medidas corretivas, preventivas ou preditivas são fundamentais para a garantia de uma análise com sucesso.

Algumas das vantagens da utilização desta metodologia é: [18]

- Fácil entendimento
- Ferramenta útil de identificação de modos de falha e seus efeitos na operação, logística, função ou pessoal
- Útil para realizar comparações
- Método extremamente simples e sistemático de classificação de falhas

3.8.1 FME(C)A - Failure modes, effects and criticality analysis

O símbolo C adicionado ao FMEA indica que além da avaliação do modo de falha avalia também a criticidade. A determinação da criticidade implica a adição de uma medida qualitativa da magnitude do efeito do modo de falha. A criticidade tem uma infinidade de definições e medidas, a maioria das quais assumir como impacto ou importância de um modo de falha e qual a necessidade de ser mitigado.

Para cada modo de falha, o analista deve determinar a maneira pela qual a falha é detectada e os meios pelos quais os operadores são informados da falha. Esse valor pode ser caracterizado como Detetabilidade, D.

A severidade, S, é a avaliação da significância do efeito do modo de falha na operação do ativo. A classificação da severidade é altamente dependente da aplicação FMEA e é desenvolvido considerando vários fatores. Outro aspecto a considerar é a probabilidade de ocorrência, O.

3.8.1.1 RPN (Risk Priority number).

Um dos métodos de determinação quantitativa da criticidade é o Número de Prioridade de Risco, RPN. O risco é aqui avaliado por uma medida subjetiva da gravidade do efeito e uma estimativa da probabilidade esperada de ocorrência por um período predeterminado assumido para esta análise. [SAE J1739]

$$RPN = S * O * D$$

Onde:

S= Severidade da falha

O= Probabilidade de ocorrência da falha

D= Detetabilidade da falha

A severidade, S , de cada modo de falha é definida na matriz, com base nas consequências que esta possa ter e esta definida desde a pior consequência que possa ter até uma onde o grau de lesão ao sistema seja baixo [17].

Nível	Critério	Caracterização
1	Insignificante	Qualquer falha que não afete o estado ou o desempenho de um sistema até um certo limite
2	Moderado	Qualquer falha que afete moderadamente apenas o seu desempenho
3	Maior	Qualquer falha que afete o desempenho de um sistema acima de um limite
4	Critico	Qualquer falha que afete o desempenho de um sistema acima de um limite e que possa pôr em perigo ou causar dano se nada for feito em contrário
5	Catastrófico	Qualquer falha que resulte em dano ou morte

Tabela 3: Índice de severidade, S

A probabilidade de falha de ocorrência é caracterizada por:

Nível	Critério	Frequência
1	Remota	1 em 1 500 000
2	Pouco provável	1 em 15 000
3	Ocasional	1 em 400
4	Provável	1 em 20
5	Frequente	1 em 2

Tabela 4: Frequência de ocorrência de falhas, O

Quanto à detetabilidade, esta poder ser definida da seguinte forma:

Nível	Deteção
5	Quase incerto
4	Muito baixa
3	Moderado
2	Muito alta
1	Quase certo

Tabela 5: Índice de detetabilidade, D

O nível de criticidade é definido pelo fator de risco, R , sendo este igual a $R = O * S$ [17]

As escalas mais utilizadas para este tipo de critérios vão de 1 a 10, sendo os níveis apresentadas anteriormente valores intermédios. Apesar de tudo isto, por si só, o valor do RPN não tem grande significado. É claro que, quanto menor este for, na teoria mais baixos serão os

critérios e por isso menos severos e prováveis de acontecer estes serão. No entanto é sempre necessário analisar bem o modo de falha em questão pois existem situações onde mesmo tendo um baixo valor de RPN esse modo de falha pode ter um valor de severidade demasiado elevado para poder ser descartado, como pode ser visto na tabela a seguir.

O passo seguinte é a necessidade da criação de uma matriz para avaliar a criticidade baseado no valor RPN. Um dos objetivos deste método é identificar as áreas, indicadores ou critérios mais críticos que necessitem de intervenção reduzindo assim o valor do RPN através de tarefas adequadas e escolhidas com o intuito de diminuição destes valores. Os valores futuros de RPN são apenas valores extremamente prováveis de alcançar e não valores cem por cento assertivos.

A matriz de criticidade pode, eventualmente, ser definida como:

Severidade →	1	2	3	4	5
↓ Ocorrência					
1	1	4	9	16	25
2	2	8	18	32	50
3	3	12	27	48	75
4	4	16	36	64	100
5	5	20	45	80	125
Detetabilidade →	1	2	3	4	5

Tabela 6: Matriz de criticidade

3.9 Análise de risco

A visão tradicional de segurança ligada à ausência total de risco é intolerável. Os riscos sendo eles maiores ou menores estão presentes em toda a parte e cabe a nós tentar controlá-los. As organizações são quem mais está exposto ao maior número de riscos e, por isso, é fundamental calcular os riscos existentes, os riscos toleráveis e intoleráveis e, minimizar estes últimos. Esta é a função de uma análise de risco. [12]

É de grande importância clarificar o conceito de perigo pois este corresponde a uma situação com o potencial de evolução, de atingir/afetar tanto pessoas como organizações ou até mesmo a sociedade ou o ambiente.

Um perigo, por muito grave que possa ser, os seus efeitos só representam um risco se houver probabilidade de suceder. Um meteorito embater no solo é um perigo potencial para uma sociedade, mas não é tido como um risco devia à baixíssima probabilidade de ocorrência.

$$\text{Risco} = \text{Probabilidade de ocorrência} * \text{Consequências}$$

Uma análise de risco deve permitir a distinção entre casos aceitáveis e não aceitáveis. Como visto anteriormente uma situação segura pode não estar isenta de riscos. Essa distinção pode ser realizada através de gráficos.

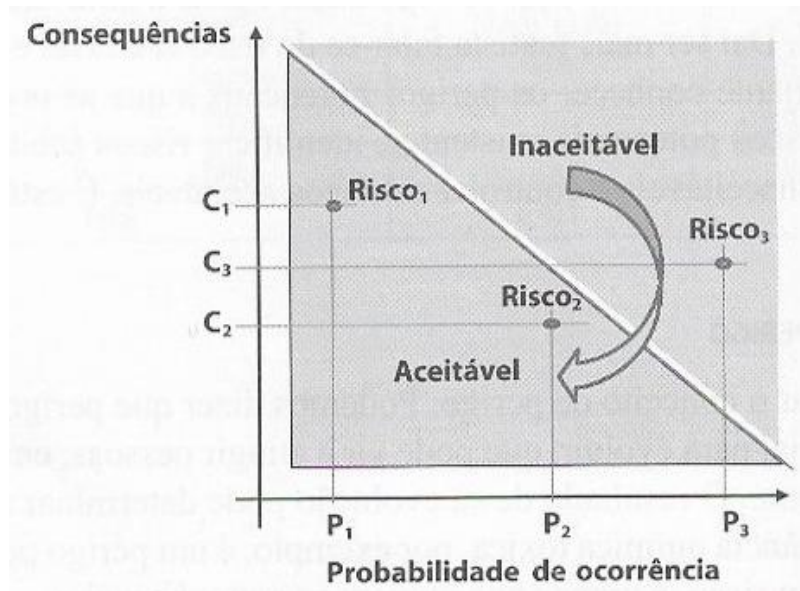


Figura 9: Gráfico de distinção de riscos aceitáveis e não aceitáveis [12]

Um risco é considerado tolerável quando o custo de o continuar a reduzir é superior aos benefícios que se obteriam com a sua redução. Esta zona de risco tolerável é conhecida como ALARP (*as low as reasonably practicable*).

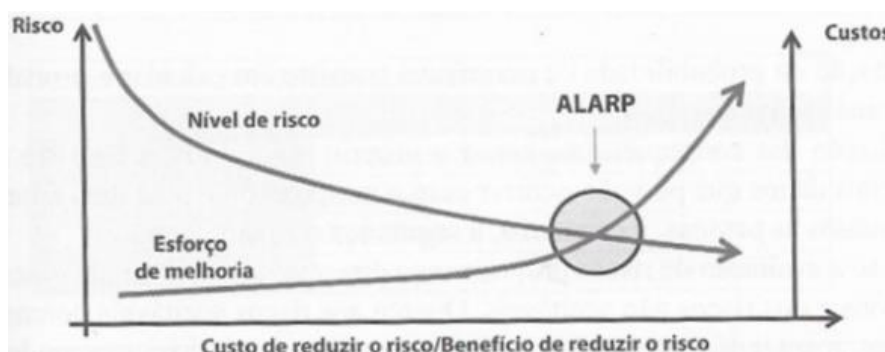


Figura 10: Gráfico identificativo da zona ALARP [12]

4 RAMS

Fiabilidade, disponibilidade, manutenibilidade e segurança (RAMS - Reliability, Availability, Maintainability and Safety) é definido como as características de um sistema e atua como uma metodologia indicadora de desempenho relativamente à sua qualidade e rendimento. A realização das metas RAMS depende da identificação dos fatores que influenciam todo o sistema. É necessário ter em conta a sua análise em diferentes fases de vida do sistema e esta vai ser tida em conta para a fases de operação e manutenção do ativo. [20,22]

Uma análise RAMS de um sistema ferroviário é um grande contribuidor para a qualidade do serviço fornecido e é influenciado por três fatores distintos:

- Condições do sistema: fontes de falhas introduzidas internamente em qualquer fase do ciclo de vida deste
- Condições de operação: fontes de falhas relacionadas com a operação
- Condições de Manutenção fontes de falha introduzidas pelas ações de manutenção

O objetivo dum serviço ferroviário é atingir um certo nível de tráfico num dado espaço de tempo. A RAMS ferroviária ajuda a garantir, com confiança, que os objetivos ou funções são alcançados e tem influência direta na qualidade do serviço. Para efeitos de qualidade a RAMS é normalizada [15].

A norma contém um balanço entre o desempenho RAMS e os custos de desenvolvimento e uso durante o ciclo de vida do ativo (LCC).

O objetivo da primeira fase da análise RAMS é de desenvolver um nível de conhecimento do sistema suficiente, de forma a que seja possível que todas as tarefas RAMS possam ser realizadas com qualidade. Nesta primeira fase os inputs deverão ser todos relativos a informação relevante, dados relativos aos requisitos necessários.

Disponibilidade de suporte estatístico RAMS, para os componentes tratados (normalmente taxa de falha, taxas de reparação, datas de manutenção, modos de falha, taxa de ocorrência de eventos) é fundamental para uma análise RAMS.

Os objetivos de uma análise RAMS são:

- Melhoria da Manutenibilidade
- Aumento da disponibilidade
- Aumento da Segurança
- Redução de custos

4.1 Custo de ciclo de vida, LCC

LCC - “custo acumulativo de um produto sobre o seu ciclo de vida, considerando que o seu ciclo de vida é o tempo desde que é projetado até que é descartado. [23]

Conjunto de custos incorridos pelo ativo durante o seu ciclo de vida. Nestes custos são contabilizados custos de aquisição, exploração, manutenção e descarte. Este é um indicador muito importante e de alguma complexidade e que possui uma interpelação muito forte com a gestão de ativos.

Os planos de financiamento a longo termo dependem de como os ativos são geridos e dos seus desempenhos. O conhecimento do LCC, a sua previsão e controlo durante o seu ciclo de vida, são essenciais para uma correta gestão de ativos. A emergência de novos conceitos de vida útil de equipamentos RAMS (Reliability, availability, maintainability, safety) como definida anteriormente e caracterizada pela norma EN-50126:1999 define e estabelece os objetivos de uma operação de longa duração, como é a indústria ferroviária, pela aplicação de conceitos, métodos, índices e técnicas de análise sobre o ciclo de vida dum sistema. Estes indicadores podem ser qualitativos e quantitativos e expressam o seu estado de disponibilidade e de segurança, tanto do sistema como de subsistemas. Um dos objetivos do sistema ferroviário é de alcançar a produção de serviço necessária com o adequado o nível de segurança. [20,22]. O desempenho de uma análise RAMS influencia diretamente a qualidade com que este serviço é prestado.

A análise de Custo de Ciclo de Vida, LCC, é útil em qualquer altura da vida de um sistema, sendo mais vantajosa se realizada durante a conceção ou aquisição, pois, esta permite uma perceção dos custos totais e permita avaliar a opção de fazer alterações no projeto.

As organizações sabem que o custo de compra é a ponte do “iceberg” (figura 11) no que toca a custos. Tal é normalmente aplicável a sistemas complexos de longa duração prestadores de serviços.

O mesmo raciocínio não pode ser feito para, por exemplo, automóveis pessoais ou ferramentas e máquinas que não tenham o mesmo tipo de vida, ou seja, que a disponibilidade exigida e as suas funções sejam de menor intensidade, o que leva a custos mais reduzidos em manutenção e em consumíveis ou sobressalentes. É por isso que uma análise cuidada, detalhada e objetiva pode levar indiretamente à melhoria do serviço prestado e diretamente à redução de custos. [20]

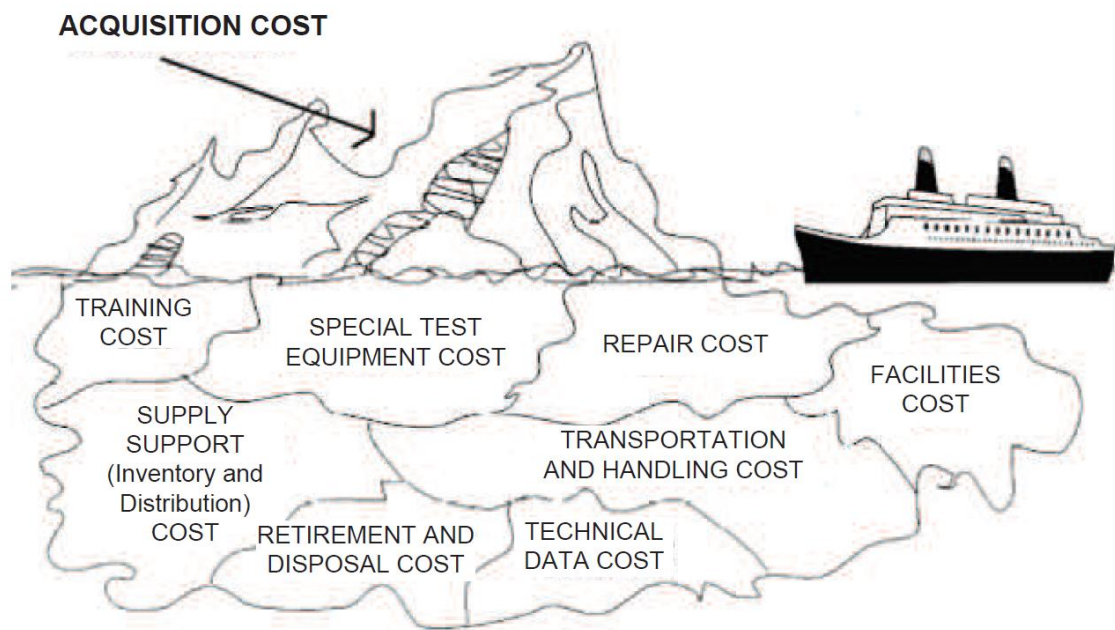


Figura 11: O efeito iceberg [20]

Como referido anteriormente a análise LCC pode ser feita em qualquer fase do projeto e este é composto por duas fases distintas de análise, OPEX e CAPEX. OPEX será mais abordada neste trabalho e por isso será descrita com mais detalhe. CAPEX são todos os custos de aquisição enquanto o OPEX, Operational Expenses (custos operacionais), inclui os custos de manutenção.

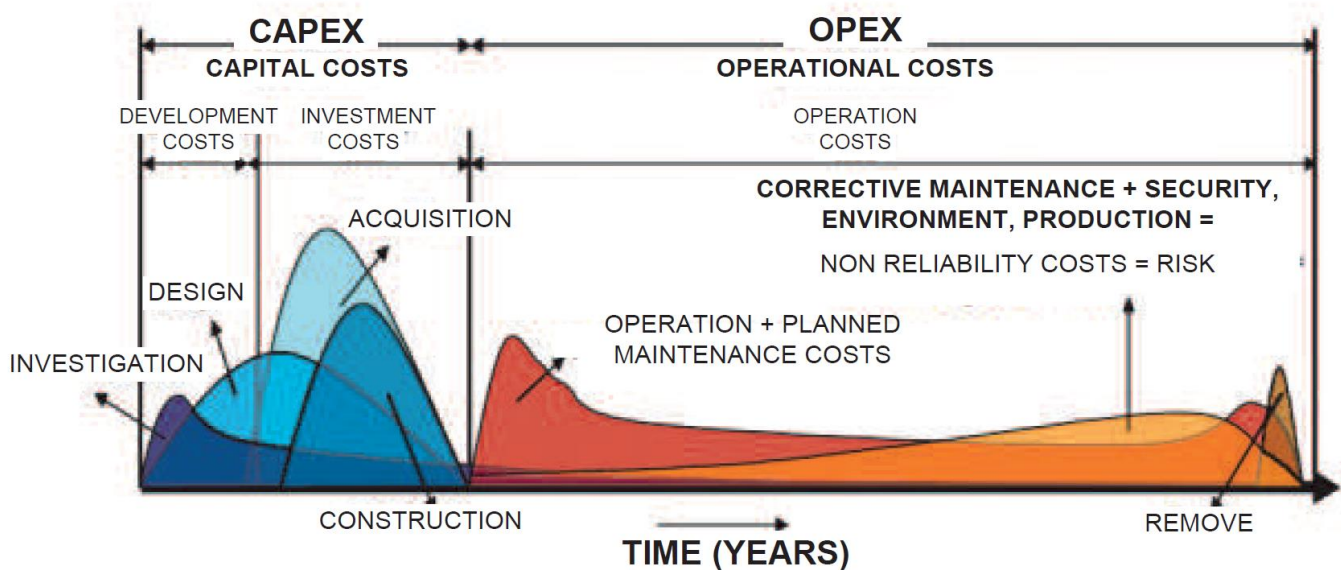


Figura 12: Estruturação de custos OpEx CapEx [20]

Os custos operacionais, OPEX, muitas vezes variam entre 50 a 70% dos custos totais a longo prazo dependendo claro do tipo de empresa ou serviço.

Uma das dificuldades na análise de custo é o efeito das inflações, taxas de cambio e juros, e por isso, a norma IEC 60300-3-3:2004 aconselha a que deve ser considerado, a certa altura, um preço base constante. Quando a instalação é mais complexa, métodos de simulação estocásticos são usados para simulação/análise das variáveis económicas acima identificadas, como por exemplo o método de Monte Carlo. [16]

A manutenção tem uma terminologia própria, presente na norma EN 13306:2001, que deve ser utilizada o mais possível em especificações, contratos e ordens de trabalho e sem interpretações individuais de forma a eliminar erros e dúvidas.

Na norma IEC 60300-3-3:2004, há modelos que podem ser adotados para o cálculo e análise LCC e um dos mais correntes é o a seguir definido [20]:

$$LCC = C_{CD} + C_{DD} + C_M + C_I + C_{OM} + C_D$$

Onde:

LCC – Life Cycle Cost (Custo de Vida Útil)

C_{CD} – Custo de conceito e definição do projeto

C_{DD} – Custo de design e desenvolvimento

C_{CC} – Custo de produção

C_{CC} - Custo de instalação

C_{OM} – Custo de operação e manutenção

C_D – Custo de descarte

A fiabilidade tem um grande impacto na análise LCC e, em alguns sistemas, o objetivo de manter ou atingir certa fiabilidade pode ser um dos maiores fatores de custo. Por outro lado, a escassez desta pode levar a diferentes tipos de custo:

Custos diretos - devido a intervenções de manutenção corretiva, gastos em materiais e peças sobressalentes e em custos de mão de obra.

Custos indiretos - estes são normalmente de mais difícil identificação e quantificação, mas são por vezes a maior fonte de perda de rendimento, como por exemplo, perda de produção e de matérias primas, perda de oportunidades de negócio, aumento do custo de produção consequente, para compensação das perdas devido à falha e por impactos ambientais.

4.2 Os custos da manutenção

O termo custo é definido pelas finanças e contabilidade normalmente como um documento comprovativo (fatura, venda a dinheiro). A gestão técnica olha para o custo não só como um documento comprovativo, mas também, como perda de receita por manutenção deficiente, perda de produção, custo HH, indisponibilidade, tempo de paragens entre outras.

A figura 11 ilustra bem o conceito de que grande parte do custo de posse de um ativo é, muitas vezes, invisível, indiretos e relativos a escolhas e decisões operacionais.

Custo Total de manutenção (EN 15341:2007) - referência normalmente apurada anualmente, relacionada com as atividades de manutenção de um ativo, é composta pelos seguintes custos:

- Remunerações dos recursos humanos, de manutenção, de logística e administrativos
- Encargos adicionais (seguros, fiscalização, taxas e impostos)
- Consumíveis e sobressalentes (integrando todos os custos, nomeadamente de logísticas e transporte)
- Ferramentas e equipamentos
- Energia e sistemas auxiliares
- Prestadores de serviço, instalações alugadas
- Amortização de equipamentos, oficinas, armazém de sobressalentes
- Formação e treino profissional
- Serviços de consultoria

A forma de apurar custo com pessoal baseia-se no cálculo do esforço hora homem (HH)

Um dos objetivos das boas praticas de gestão é introduzir mecanismos práticos que permitam apurar os seus custos. “O mais difícil não é calcular, mas sim obter a informação” [4]

5 RCM

Manutenção centrada em Fiabilidade, RCM, é um processo usado para determinar o que deve ser feito para assegurar que um sistema físico continue a desempenhar as funções que os seus utilizadores desejam que este cumpra num contexto operacional. [1]

Esta metodologia teve início da década de 60, na Indústria aeronáutica Americana, onde foi pela primeira vez documentada. Nessa época houve uma crescente procura por serviços aéreos o que levou a uma necessidade de disponibilidade elevada. Os processos de manutenção da altura tiveram grande evolução quando se percebeu que as intervenções preventivas não tinham impacto direto, a não ser que a falha fosse evidente e dominante, nem melhoravam a fiabilidade a níveis interessantes. Foi então implementado pela primeira vez um programa, ao Boieng 747, denominado de "MSG-1: Maintenance Evaluation and Program Development" com o objetivo de também tornar a operação comercial deste veículo economicamente mais viável. O sucesso deste método na aviação levou a que fosse posteriormente implementado, em 1970, um novo programa designado de "MSG-2: Airline Manufacturer Maintenance" com o objetivo de fiabilidade e segurança máximas e de custo controlado.

Nolan e Heap foram os primeiros a mencionar o termo "RCM" no relatório de manutenção do MSG-2. No relatório foi mencionado as quatro estratégias usadas para as decisões: esperar para ver, sempre que as condições assim o permitissem, realizar manutenção preventiva a componentes de estivessem em fim de vida (*ageing Effect*), realizar manutenção preditiva com busca de falhas e redesenhar ou reprojetar equipamentos ou componentes para remover certas falhas. [25,26]

5.1.1 O RCM II e as sete questões básicas

O RCM II é uma evolução da metodologia RCM original, estudada e aprofundada por John Moubray [1]. Esta metodologia é distribuída à Aladon que é quem tem os direitos e possui o software de análise e cede formações a empresas interessadas. Em Portugal quem detém os direitos e promove consultoria é a Pcg - Profabril Consulplano Global, S.A.

Esta nova versão da metodologia insere novos conteúdos e análises à previa e mais simples versão, como por exemplo, a adição das consequências ambientais, a árvore de decisão e a caracterização desta nas sete questões abordadas a seguir. São também alteradas algumas expressões utilizadas por Nolan e Heap.

O processo de RCM II baseia-se na análise crítica e revisão de sete perguntas e de como melhor responder: [1]

- Quais as funções e padrões de desempenho de um ativo no seu contexto presente de operação?
- De que forma ele falha em cumprir as suas funções?
- O que causa cada falha funcional?
- O que acontece quando ocorre cada falha?
- De que forma cada falha importa?
- O que pode ser feito para prognosticar ou prevenir cada falha?
- O que deve ser feito se não for encontrada uma tarefa pró-ativa apropriada?

Esta metodologia começa pela contextualização operacional do sistema a estudar e suas funções e desempenho. Em seguida visa identificar modos de falha e suas causas prováveis, detalhando quais as consequências destes modos de falha. Um dos processos essenciais desta análise é a criação de um FME(C)A. Esta análise permite conhecer quais as consequências de falhas que são mais importantes de controlar. A ideia de que todas as falhas devem ser corrigidas e evitadas, é uma falácia, pois nem sempre é uma solução viável e nem por isso leva a uma melhoria do desempenho de um sistema.

A grande questão que se põe é o balanço entre o tecnicamente viável e o economicamente interessante. O RCM permite também, além das melhorias de desempenho e maior efetividade de controlo de custos pela manutenção, uma análise das consequências de falha levando assim a um aumento de segurança e proteção ambiental.

O RCM é um método para atingir um objetivo, obter a melhor estratégia de manutenção possível. Outra característica desta análise é que é dinâmica, ou seja, mesmo após ser introduzida está sempre sujeita a alterações e modificações de forma a ser melhorada (lógica da melhoria contínua). Esta análise deve ser feita, na vida útil de um sistema, quanto mais cedo melhor, pois permitirá um melhor conhecimento inicial do sistema e assim alcançar a melhor estratégia de manutenção numa fase mais precoce da vida do sistema, evitando erros graves e custos excessivos ao longo do seu ciclo de vida.

O RCM pode ser definido pelos seguintes passos: [25]

1. Escolha de uma equipa pluridisciplinar
2. Definição e seleção de sistemas
3. Análise de funções
4. Análise de historial de falhas e avarias
5. Desenho de um FMEA
6. Seleção de ações de manutenção
7. Determinação de ações de manutenção
8. Análise de comparação de manutenção preventiva
9. Tratamento de sistemas não críticos
10. Implementação e atualização de informação/historial durante o serviço

5.1.2 Implementação do RCMII

Decisão e Planeamento

O primeiro passo num processo de RCM numa organização é a decisão de que ativos vão ser submetidos a este processo. Quando corretamente aplicado, este processo leva a melhorias notáveis na eficiência/eficácia da manutenção e da qualidade no desempenho das suas funções durante a sua vida útil e permite também que os ativos sejam postos em serviço com mais rapidez, precisão e sobretudo confiança. É então necessário decidir: quais os ativos mais prováveis de beneficiarem com o processo e como poderão beneficiar e estimar os recursos necessários para aplicar o processo nos ativos selecionados.

Outro componente fundamental para uma análise eficaz é o grupo de revisão. Para responder a todas as sete questões apresentadas pelo RCM é necessário mais do que apenas o conhecimento de uma ou duas pessoas e, por esta razão, as equipas de RCM são normalmente compostas por, pelo menos, uma pessoa da manutenção e uma da operação.

Grupos de revisão

O processo RCM incorpora 7 questões que não podem ser respondidas por qualquer pessoa. Isto porque muitas delas até terão uma melhor resposta se dadas pelo pessoal da manutenção e operação devido ao facto de muitas delas se aplicarem a desempenhos e funções que estes interagem mais. Esta é uma das razões por que as revisões e processos como estes

devem ser realizados por equipas onde se encontrem pelo menos uma pessoa da manutenção e outra da operação. Além disso, estas equipas permitem aos membros constituintes uma grande aprendizagem e especialização no ativo em que trabalham. É assim garantido que o grupo inclua perfis diferentes de forma a assegurar que diferentes pontos de vista são tidos em conta. O grupo ideal deve ter de 5 a 6 membros e devem-se manter os mesmos de início ao fim do processo de forma a rentabilizar o processo e a não se perder tempo nem informação.



Figura 13: Constituição equipa RCM

Facilitadores - os grupos de revisão são orientados por especialistas com elevados conhecimentos em RCM e estes são os membros mais importantes neste grupo - O seu papel é aplicar a lógica RCM, gerir a análise, conduzir as reuniões, gerir o tempo e as componentes de administração, logística e gestão envolvidas. São também fundamentais para garantir que todos os membros do grupo entendam o processo a ser realizado e o seu papel na sua aplicação e na ordenação e eficiência em termos de tempo e energia do grupo. [1]

Aplicação da lógica RCM [1]

A aplicação da metodologia passa pelos seguintes passos:

- Preparação das reuniões, onde previamente às reuniões é decidido que partes do sistema abordar e que informação relevante é necessária possuir durante as reuniões, como por exemplo, manuais, esquemas elétricos ou desenhos.
- Selecionar os níveis de análise e definir fronteiras: o sistema a ser analisado deverá ser previamente identificado durante a fase de planeamento. Pode ser necessário agrupar

ou desagrupar sistemas ou componentes de forma a possuir uma análise mais consciente.

- Tratar de forma adequada funções e falhas de sistemas complexos a um nível equilibrado (nem muito superficial nem muito profundo)
- Saber quando parar de listar modos de falha. O excesso de modos de falha pode prejudicar bastante uma análise RCM.
- Interpretar e registar as decisões de forma a poderem ser entendidas por todos (técnicos, engenheiros, gestores ou auditores)
- Reconhecer a falta de conhecimento do grupo de forma a se poder tomar ou não decisões viáveis.
- Reduzir esforços para reprojetar componentes durante reuniões de RCM. Por vezes a tendência pode passar pela tentativa de resolução no momento do problema após identificação de que de facto o reprojeto é obrigatório. Não significa que o grupo não se deva envolver, mas sim que o deva fazer fora das reuniões.
- Completar as folhas de informação e decisão baseado nas decisões tomadas durante as reuniões e passá-las para dados computacionais.
- Preparar um documento para posterior auditoria

Resultados [1]

Se corretamente aplicada, uma análise RCM resulta em:

- Programas de manutenção otimizados
- Redução de custos de manutenção
- Conhecimento sobre o sistema analisado muito mais robusto e pormenorizado
- Procedimentos operacionais revistos
- Desempenho operacional melhorado
- Maior segurança e proteção
- Maior eficiência no controle de custo de manutenção
- Maior motivação das pessoas envolvidas em manter os níveis exigentes para os quais estudaram e trabalharam
- Melhor trabalho em grupo pois tanto a operação como a manutenção ou a gestão ganham conhecimentos das diversas aéreas e permite um melhor entendimento

5.1.3 Folha de informações

Para a realização de um FMEA completo e abrangente é necessário identificar todos os modos da falha possíveis. Esta é uma das razões da criação de um grupo de trabalho, para que sejam fornecidas informações valiosas por parte de cada elemento do grupo. A melhor equipa para a realização de um FMEA é formada por quem opera e mantém o sistema no dia-a-dia, pois estas conhecem erros, falhas e avarias que não são descritas ou conhecidas por mais ninguém. Outro fator importantíssimo para uma coletânea de informações rigorosa, é a qualidade dos registos históricos. É necessário verificar a correção das informações registadas, significado, validade e grau de completude (para assim evitar registos históricos aleatórios, mal-interpretados e incompletos que apenas induzem a erros de análise. Tal significa que estes registos históricos não validados, devem apenas ser utilizadas como fonte complementar e nunca como uma fonte única. [1]

Um dos aspetos a ter em conta na definição das falhas e modos de falha é o nível com que são realizados. Se for feito a um nível muito alto pode se tornar superficial e se a um nível muito baixo pode ser incompreensível, inacessível e de difícil gestão. Os FMEA têm a tendência de baixar muito a hierarquia ao nível de análise e por isso para níveis demasiados baixos é aconselhado a realização de uma análise para cada subsistema, como referido anteriormente durante a descrição da aplicação da lógica RCM.

Uma vez estabelecido o nível de análise de todo o RCM deve se decidir qual o grau de detalhe necessário para a definição de cada modo de falha e entrar iniciar e preenchimento pela função mais adequada. A folha de informações feita, por exemplo, através do software da IVARA, permitiu durante as discussões ir preenchendo as funções, falhas funcionais e modos de falha identificados durante as reuniões do grupo de RCM.

RCM2 Information Worksheet

Analysis:	Sistema de Portas de Passageiros ET		Facilitated by:	Created on:	 My company My Site
Asset:			Reviewed by:	Completed on:	
Function	Functional Failure	Failure Mode	Failure Effect		
1 Permitir a operação de qualquer das portas pelos passageiros, após habilitação pelo maquinista, em ciclos de 17 +2 segundos para abertura, espera e fecho, com emissão de aviso sonoro e luminoso de início do percurso de fecho durante 3 segundos.	1A Não permitir a operação de qualquer das portas pelos passageiros após habilitação pelo maquinista.	1A1 Disjuntor de alimentação da porta (3F...) falha aberto	A falha do disjuntor na posição aberta corta a alimentação eléctrica de 24 V DC à porta, imobilizando-a. Todos os sinais luminosos da porta alimentada pelo disjuntor em falha ficam apagados, o icon da porta na cabine de condução passa a vermelho intermitente. A lógica do veículo impede o veículo de se movimentar. O maquinista isola mecânica e electricamente e confirma o isolamento no IDU para poder seguir viagem até ao fim do dia ou até que se verifique falha de outra porta do mesmo lado. A reposição de condições é feita por substituição do disjuntor em falha após diagnóstico, em oficina após manobras de admissão, podendo demorar até 1 hora.		
		1A2 Botão de abertura de qualquer das portas pelo passageiro, falha.	Falha electrónica. A falha do botão de abertura de porta impede a abertura interna ou externa da porta pelos passageiros, apesar da informação luminosa do botão poder estar funcional. A falha é detectada pelos passageiros, não sendo impeditiva de movimentação do veículo. As portas podem ser abertas e fechadas pelo maquinista. A reposição de condições é feita por substituição do botão em falha após diagnóstico, podendo demorar até 0,5 hora.		
		1A3 Cabiagem de alimentação e controlo do botão falha por fadiga.	Os ciclos de movimentação da porta originam fadiga na cablagem que no limite causam a interrupção, imobilizando a porta. O botão de abertura perde a funcionalidade, sendo a falha detectada pelos passageiros e não se tornando impeditiva de movimentação do veículo. As portas podem ser abertas e fechadas pelo maquinista. A reposição de condições é feita por substituição da cablagem em falha após diagnóstico, podendo demorar até 1,5 hora.		

Figura 14: Exemplo de folha de informações usada nas reuniões de RCM

Relativamente às tarefas pró-ativas:

- A coluna H1/S1/O1/N1 é usada para registar se uma tarefa sob condição deve ser realizada de modo a antecipar o seu modo de falha em tempo útil.
- A coluna H2/S2/O2/N2 é relativa ao uso de tarefas preventivas sistemáticas (programadas) com o intuito de prevenir o respetivo modo de falha.
- A coluna H3/S3/O3/N3 tem o objetivo de identificar se alguma tarefa de descarte é adequada para aquele modo de falha

As colunas H4 H5 e H6 dizem respeito as tarefas default. Estas têm relevância se todas as respostas para a realização de tarefas pró-ativas forem negativas. A coluna H4 verifica se a busca de falha é tecnicamente viável ou não. A coluna H5 só é considerada se a resposta à coluna H4 for negativa, certifica-se de que o efeito da falha não tem consequências para o meio ambiente ou para a segurança dos demais. Por último a coluna S4 verifica se uma combinação de tarefas é tecnicamente viável e se vale a pena, por forma a reduzir o risco de falha para um nível aceitável. Se as respostas às ações anteriores forem negativas e houver impacto ambiental ou na segurança o reprojeto é obrigatório.

Todo este diagrama de decisão é realizado durante as sessões de revisão, preenchida com o auxílio do facilitador de forma a ficarem bem identificadas e agrupadas a falha e respetivos modos de falha.

RCM2 Decision Worksheet

Analysis:

Sistema de Portas de Passageiros ET Facilitator:

Created on:

Asset:

Reviewed by:

Completed on:

RCM Reference			Consequence Evaluation				H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	Default Task			Recommended Action	Frequency	Trade
F	FF	FM	H	S	E	O				H4	H5	S4			
1	A	1	Yes	No	No	No	No	No	No				No scheduled maintenance		
1	A	2	Yes	No	No	No	No	No	No				No scheduled maintenance		
1	A	3	Yes	No	No	No	No	No	No				No scheduled maintenance		
1	A	4	Yes	No	No	Yes	No	No	Yes				Do the scheduled discard task	960 000 Km	

Figura 16: Exemplo de um Diagrama de Decisão usado durante as reuniões de RCM

5.1.5 Auditorias

Uma análise RCM deve ser auditada do ponto de vista do método e conteúdo. Qualquer entidade que aplique o RCM deve ter em atenção e garantir este seja verdadeiramente e corretamente aplicado.

As auditorias do RCM devem ser realizadas de forma a se rever formalmente todos os conteúdos das folhas de decisão e informação do RCM e feitas pelos responsáveis da realização desta. Normalmente estes reesponsáveis são diretores ou pessoal administrativo com grande interesse na aplicação da metodologia e dos resultados provenientes. É também fundamental que quem faça estas auditorias sejam extremamente bem treinados ao nível da metodologia.

A auditoria deve ser feita o mais breve após o término desta de forma a que ainda se possam recordar das razões das tomadas de decisões e quanto mais cedo implementadas mais benéfico se tornará para a empresa. [1]

5.1.6 Continuação da aplicação da metodologia

Como referido anteriormente, o RCM, é uma metodologia dinâmica que deve estar sempre a ser revista e a sofrer alterações se necessário. É comum esta revisão ser feita de 9 em 9 meses ou de 12 em 12 meses.

Além da revisão periódica deve ser verificado se: [1]

- O contexto operacional onde os sistemas estão inseridos sofreram alterações
- Desde a implementação do RCM se houve algum modo de falha ou efeito novo ou não introduzido previamente
- O desempenho do equipamento sofreu mudanças de forma a que seja necessária a revisão do FMEA
- Deve ser adicionado ou alterado algum pormenor nos efeitos de falha
- Alguma consequência não foi tida em conta ou a sua criticidade sofreu alterações após implementação
- Alguma das tarefas escolhidas não são tecnicamente viáveis ou não valham a pena de serem realizadas
- Foi idealizada alguma solução melhor que as propostas inicialmente

5.1.7 RCM II vs. RCM III

A metodologia RCM III, também detida pela ALADON, é uma melhoria e complemento do processo RCM II.

Como visto anteriormente o RCM foi introduzida na indústria aeronáutica por Nolan e Heap em 1978. Com o aumento de popularidade e tendência para a generalização de uso do RCM, foram feitos grandes estudos e melhorias para a sua aplicação na indústria, onde o mais notável foi o desenvolvimento feito do RCMII por John Moubray e a aplicação e distribuição a nível mundial, feita pela Aladon, desde 1991. O desenvolvimento de normas como a SAE JA 1011 (Evaluation Criteria for Reliability: Centered Maintenance RCM Processes) e a SAE JA 1012 (A guide to the RCM Standard) vieram trazer credibilidade à metodologia. O RCMIII é uma continuação do trabalho de Moubray feita por Marius Basson.

O RCM III traz uma nova dimensão e abordagem à manutenção e análise de risco. Uma introdução a este processo foi uma oitava questão (RCMII era constituída por sete). [5].

1. Quais são as condições de operação?
2. Quais são as funções e qual a desempenho do ativo no seu contexto operacional?
3. De que modo ele falha em cumprir as suas funções?
4. O que causa cada estado de falha?
5. O que acontece quando cada falha ocorre?
6. Quais são os riscos associado a cada modo de falha?
7. O que deve ser feito de modo a reduzir um risco intolerável a um nível mais baixo(tolerável)?
8. O que pode ser feito de modo a reduzir ou gerir riscos de um modo economicamente viável?

Muitas destas questões já são respondidas através da metodologia RCM II. As diferenças ou alterações encontram-se ao nível do contexto operacional, onde este é estudado numa fase mais inicial e tido mais em conta para modos de falha, efeitos riscos e consequências operacionais. [5,28]

Relativamente às funções, estas são mais focadas e analisadas no cumprimento das funções ambientais e de segurança e, no momento de caracterização de funções primarias e secundarias tem também em conta a limpeza, reutilização, reciclagem e despejo. [1]

Quanto às falhas funcionais, o RCM III, além do estado geral de falha, contempla também as diferenças entre modo de falha geral, o estado “a falhar” (perda parcial de rendimento ou capacidade) e o estado “falhado”.

Os modos de falha são nesta metodologia não apenas vistos como uma causa, mas também como um mecanismo e, por isso, permite analisar o mecanismo de degradação e identificar as causas com níveis de detalhe mais apropriados.

O RCMIII, além dos efeitos locais modos e evidências, descreve também o efeito com o potencial pior caso. A questão de quando, com maior probabilidade, se dará a falha é agora verdadeiramente tida em conta e analisada devido ao seu contexto operacional (OC) ser mais relevante. As consequências e riscos ambientais, operacionais, não operacionais, ocultos e de segurança são nesta metodologia vistos como riscos físicos e económicos e separa os riscos ocultos em 2 categorias, também físicos e económicos. Quanto ao risco inerente, o RCMII determina o que deve ser feito para que um sistema preserve as suas funções minimizando consequências. Além do exposto, o RCMIII faz uma abordagem e análise ao risco baseado na norma ISO 31000 e ao risco probabilístico ao nível dos componentes, resultando em recomendações de reprojeto. Esta abordagem de risco contabiliza também todos os custos associados.

Outra alteração ou diferença nas metodologias passa-se ao nível do diagrama de decisão. No RCMII a decisão lógica leva a tarefas de manutenção preditiva, preventiva e estratégias de busca de falha, reprojeto e à manutenção não programada. O RCMIII, por outro lado, já se foca na fiabilidade da função protegida em primeiro lugar e incorpora nas decisões critérios para tratar falhas ocultas físicas e económicas. Estas promovem um intervalo otimizado de busca de falha (reduzindo assim custo) e o critério de risco do “valer ou não valer a pena” é ligeiramente diferente.

A normalização do RCMIII é mais completa pois além das normas SAE J1011 e J1012 segue-se também pelos critérios das ISO 55000 e ISO 31000.

Posto isto, a metodologia do RCMIII é uma continuação do RCM II, mais completa e com um focus mais assertivo nas questões de risco físico e económico. Também por se basear em mais normas, tem capacidade para ser mais utilizada e aceite em qualquer indústria. O RCMII, de momento, é uma metodologia que tem mais sentido e impacto, nomeadamente em indústrias como petroquímicas e centrais produtoras de energia, ou seja, atividades com riscos associados elevados. [5]

5.2 Falta de informação e qualidade dos dados históricos

Periodicamente, em avaliações de fiabilidade a sistemas, um dos problemas que se enfrenta é a falta de informação sobre falhas. Por vezes, o seu impacto na segurança ou produtividade é aceitável, o que permite apenas estimar um valor aproximado. Noutros casos, onde os seus efeitos podem não ser aceitáveis, são necessários métodos mais formais para estimar periodicidade de falhas, como os referidos no capítulo 3.10.

O método de DELPHI, de emparelhamento, da análise morfológica ou o próprio FMEA, são métodos bastantes capazes de estimar falhas características, quando não há qualquer informação sobre falhas ou fiabilidade de equipamentos [8].

É elevado o número de pessoas que acredita que, uma estruturação de manutenção só pode ser efetivamente bem realizada se for baseada em amplas informações sobre falhas e seus modos. Isso levou à instalação de sistema de registo histórico, manuais e automáticos, que por si só não são a solução de todos os problemas. Existem inúmeras dificuldades práticas e contradições devido à complexidade, tamanho das amostras, capacidade de relatar e registar eficientemente a falha e, do cruzamento de dados com outras áreas.

Quanto à sua complexidade, muitos sistemas têm falhas funcionais, causadas não por uma, nem por duas, mas sim por diversos modos de falha e por consequência, estes podem ser de extrema dificuldade de mapear. Além disso, muitos modos de falha podem ter sintomas semelhantes a outros, facilitando a confusão entre eles.

Relativamente ao tamanho da amostra e da sua evolução, esta deve ser o maior, mais uniforme e constante possível. Tamanhos de amostras reduzidas não permitem valores suficientes para validar qualquer procedimento estatístico. Os ativos também se encontram em constante evolução e modificações em resposta à crescente inovação e exigência operacional fazendo com que normalmente não seja implementada nenhuma atividade de recolha de manutenção por não ser tecnicamente nem economicamente viável.

Outro problema da análise de dados encontra-se nas diferenças políticas e de organização entre entidades. O próprio relatório de falhas pode ser um problema se analisado por diferentes organizações podendo haver confusões naturais como por exemplo, a não distinção entre falhas funcionais e potenciais. Expectativas de desempenho diferentes podem levar a definições de falha também diferentes, demonstrando que uma falha para uma entidade pode não o ser para outra. Muitas diferenças de apresentação e interpretação de dados de falha podem ser também provocadas por perspetivas diferentes como a de um fabricante para a entidade operadora. Um

garante que o sistema cumpre as definições de projeto enquanto, devido ao contexto operacional, o outro pode exceder as capacidades do sistema e incorporar falhas num sistema que por norma não é aceite pelo fabricante. Nowlan e Heap mencionaram que quem opera o sistema reporta aquilo que viu, enquanto os fabricantes se pronunciam sobre aquilo que deveria ter sido visto.

Uma das contradições deste assunto, O Enigma de Resnikoff, relata que um dos problemas de toda a questão do histórico técnico é o facto de nos preocuparmos mais em recolher informação de falhas do que em evitá-las. [1]

Na aplicação da metodologia RCM, um dos erros a evitar cometer-se é o enfase demasiado nos dados de falha. Existe, naturalmente, uma tendência para dar muito importância, por exemplo, a MTBF's e MTTR's. Tais valores podem estar erradamente retirados e aplicados ou são baseados em valores padrões de desempenho inadequados o que faz com que as análises sejam adulteradas.

5.3 Recolha de dados

Em grande parte dos casos os registos de intervenções realizadas são geridos por um software de manutenção e armazenados em base de dados, ou para ficheiros/folhas de informação de fiabilidade. Os dados genéricos de fiabilidade podem ser obtidos por informação pública ou internamente em cada organização.

As utilizações de software específico de manutenção e o repositório em bases de dados, facilitam a análise pelas organizações, nomeadamente quanto a termos de inventários e eventos, em formatos adequados, para posterior processamento e uso em, por exemplo, softwares de análise fiabilísticos.

A maioria dos dados recolhidos nas intervenções de manutenção serão proveniente de relatórios de falha individuais e, por norma, são apenas anotados pelos técnicos o tipo de manutenção, se programada ou não, e o tipo de ação realizada, dando estes mais enfase à reparação ou substituição do que à causa de falha. Para propósitos de análise de fiabilidade é necessário que a informação seja interpretada e estabelecidas as falhas, os modos de falhas e os seus efeitos no sistema. A recolha de dados e sua análise deve ser progressiva à medida que a experiência de falha aumenta.

Existem três tipos de informação necessária para um sistema de dados fiabilísticos, sendo eles:

- Informação do sistema: esta define o design e características funcionais de um ativo
- Informação de eventos de falha: descrições de cada evento de falha, relacionado com o inventário de cada sistema, códigos de falha e condições operacionais e ambientais no momento da falha.
- Informação operacional: datas e horas da falha, estado operacional antes da falha, tempo de reparação e tempos de espera.

6 Veículo

6.1 Contextualização do veículo e da operação e manutenção

O veículo ET é propriedade da empresa “Metro do Porto SA”, entidade a que o Estado concessionou em 1994, o Projeto, Construção, Financiamento e Operação do Sistema de Metro Ligeiro da Área Metropolitana do Porto, por 50 anos. É esta Entidade que tem a missão de gerir os ativos em ciclo longo, otimizando o LCC de todo o sistema e garantindo um serviço público de transporte de qualidade, nomeadamente com elevada disponibilidade e fiabilidade.

O veículo EuroTram é originalmente um projeto da ABB, cujo setor ferroviário foi adquirido no fim da década de 90 pelo grupo AEG, formando na época a Adtranz. Esta é posteriormente vendida à Bombardier Canadiana, formando a BT – Bombardier Transportation.

Trata-se de um veículo projetado e construído fundamentalmente nas unidades industriais de Itália (design e eletromecânica), Inglaterra (estrutura) e Portugal (montagem na Bombardier da Amadora).

O ET circula num sistema de rede de metro ligeiro, com 68 km e 82 estações, integralmente em via dupla e eletrificado, com troços subterrâneos e de superfície, que liga 7 municípios da AMP – Área Metropolitana do Porto.

A MP é obrigada, conforme definido nas Bases da Concessão, a subconcessionar a operação e manutenção do sistema de metro. Este requisito é garantido por consulta periódica ao mercado (a cada 7 anos), através de concurso público internacional.

A subconcessão implica a subcontratação de todas as tarefas operacionais relacionadas com a operação (produção de transporte) e as tarefas de manutenção, com exclusão de grande parte da manutenção pesada do Sistema de Metro.

No que respeita ao material circulante, essas obrigações compreendem toda a manutenção das frotas, com exclusão do ciclo de 960.000 quilómetro da frota ET, pintura geral de veículos, substituição de foles de interligação, melhorias de sistemas, obsolescência e intervenções de meia vida.

Também no que respeita ao material circulante, a subconcessão tem a particularidade de impor o subcontrato de manutenção do material circulante, na época a EMEF, hoje a CP. EPE. Esta singularidade é motivada pelo uso exclusivo por esta das instalações oficiais de Guifões,

onde a MP construiu o parque e as oficinas de grande manutenção e, por esta entidade deter as competências e capacidades adequadas à função.

Existiu, desde as opções iniciais, a decisão de apoio ao saber fazer local, ao uso do relevante investimento realizado pela CP em Guifões e pela fixação de competência e transferência de novo saber para uma empresa portuguesa, num setor estratégico e com um natural perfil de parceiro da MP.

A subconcessão é hoje da Via Porto, Unipessoal Lda, fruto do concurso realizado em 2017 que resultou no atual contrato de subconcessão, com duração de 7 anos, de 2008 a 2015. e, como visto anteriormente, mantida pela EMEF/CP.

A Via Porto é a empresa de gestão de sistemas de transportes, detida integralmente pelo Sr. Humberto Pedrosa, principal acionista do grupo barraqueiro, maior operador privado de transporte coletivo de passageiros português

A ViaPorto subcontrata toda a manutenção do material circulante à CP, através de um contrato pré-negociado entre a MP e a EMEF/CP, que incluía a implementação da metodologia RCM na manutenção da frota ET. A frota TT já tem uma manutenção prescrita pelo fabricante utilizando conceitos RCM, nomeadamente a manutenção planeada por sistema e não ciclos de manutenção geral dos veículos.

A frota ET iniciou o seu serviço em dezembro de 2002 num mapa ferroviário composto por 1 linhas de metropolitano (Matosinhos – porto), que evoluiu para 6 linhas (linhas A B C D E e F, com as suas respetivas cores). Conta com 82 estações espalhadas pelo Porto, Gaia, Maia, Matosinhos, Povia do Varzim, Vila do Conde e Gondomar, com uma extensão total de 768 km. A rede é maioritariamente à superfície, com 9,5 Km subterrâneos (13,5 %).

Em serviço, cada ET faz, em média, 74.500 km por ano tendo, no final do ano de 2019 um veículo com 880.000 km e outro com 1.225.000 km, representando as pontas de quilometragem da frota Os picos de operação acontecem nas horas de ponta da manhã e de tarde, das 7h às 9,30 da manhã e das 17 às 19,30 horas da tarde, sendo estes os períodos de maior afluência de passageiros, logo de maior necessidade de disponibilidade e fiabilidade. O serviço anual realizado é composto por diversos horários sendo o horário de Inverno o que exige maior número de veículo disponíveis (cerca de 64 veículos).

Relativamente ao contrato de manutenção entre a Metro do Porto, ViaPorto e CP, este contém indicadores que podem dar origem penalidades se os níveis de disponibilidade (veículos necessários vs. veículos disponíveis nas horas de ponta) e fiabilidade (MDBF contratual vs. MDBF obtido) forem reduzidos. Ou seja, imobilizações que excedam o número máximo de unidades em oficina durante determinado período horário ou um MDBF inferior a 10000 Km, ou atraso de mais de quinze dias para a realização de uma R são eventos que podem levar ao pagamento de coimas.

As condições de operação na rede da MP exultam numa elevada exigência para a frota ET quanto à tipologia de linha, à elevada de incidência solar, tanto em serviço como em parque, (o que leva a um desgaste prematuro de diversos componentes e ao uso excessivo dos AVACS), dado o número de elevado de estações, de comprimento das linhas e número de paragens.

O forte crescimento da procura (antes do período pandémico) resulta também numa exigência bastante elevada para este veículo, pois é um veículo do tipo Tram, tipicamente dimensionados para circular em trajetos urbanos, e a velocidades até 50 km/H, a operar em modo de metro ligeiro.

Relativamente às manutenções previstas pelo manual do fabricante, estas agrupam-se da seguinte forma:

- V's consideradas como vistorias periódicas
- R's consideradas as revisões de maior escala

Dentro de cada uma das vistorias há uma enumeração, de "5" até "1+" que reflete a dimensão e a profundidade com que é feita cada intervenção como demonstrado na figura 17.

Na tabela seguinte encontra-se exemplificado a estruturação de intervenções realizadas pela CP à frota ET da Metro do Porto.

INTERVENÇÃO	PERIODICIDADE	DOCUMENTO DE REFERÊNCIA	IMOBILIZAÇÃO
Vd	≤ 2 dias	1.I.MP.002	15 min
V5	7.500 km	PM_MC 7500KM	4,5 horas
V4	15.000 km	PM_MC 15000KM	16 horas
V3	30.000 km	PM_MC 30000KM	24 horas
V2	60.000 km	PM_MC 60000KM	36 horas
V1	120.000 km	PM_MC 120000KM	48 horas
V1+	240.000 km	PM_MC 240000KM	72 horas
R2	480.000 km	1.PQ.UMEMP1.R2.60	7 dias
R1	960.000 km	1.PQ.UMEMP1.R1.60	21 dias
RMSC	-----	1.PQ.UMEMP1.RMSC.60	1 dia

Figura 17: Tabela de periodicidade de cada intervenção

Cada uma destas intervenções foca-se em determinados sistemas e com a profundidade de análise necessária. Um dos objetivos da implementação do RCM é, exatamente, verificar se essas verificações e revisões são realizadas, se o são feitas atempadamente ou se não há necessidade para a realização destas.

É fundamental, durante a análise RCM, não cair em tentação de realizar tarefas semelhantes ou apoiadas nos períodos anteriores. A ideia do “Já se faz assim há muito tempo” é crítica e induz erros na análise e por isso é uma das maiores dificuldades na altura de escolha de tarefas e períodos no diagrama de decisão.

6.2 Caracterização do veículo

O veículo da frota EuroTram, fabricados pela Bombardier, é composta por 72 veículos denominados de MP001 a MP072.

Um veículo é composto por sete módulos dos quais dois são cabines, três salões e dois são módulos de intercomunicação. É também composto por quatro bogies presentes nas cabines e nos módulos de interligação. Dos quatro bogies, três são motrizes, e um livre (bogie C), que se encontra no modulo de interligação C.

O veículo está designado desde a letra “A” da cabine frontal até à “G” da retaguarda. O pantógrafo encontra-se junto á cabine A definindo assim a frente do veículo. Uma das características principais do EuroTram é ser bidirecional, ou seja, circula em qualquer direção da via, tendo por isso duas cabines, ambas postos de comando.

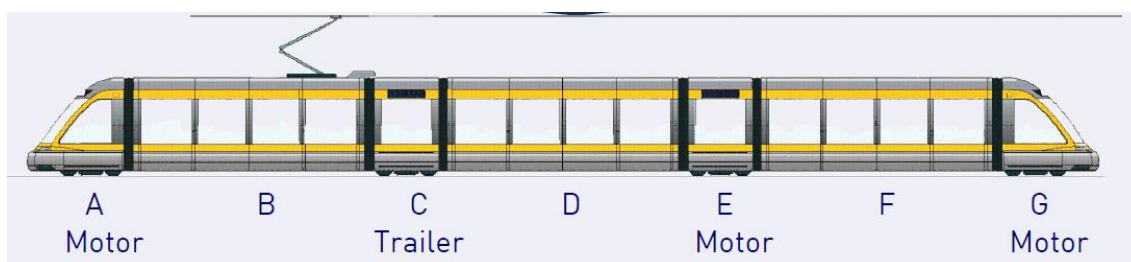


Figura 18: Identificação Módulos e Bogies EuroTram

A interligação entre os módulos é efetuada através de foles. Estes têm a função de permitir movimento relativo entre os módulos, uma eficaz integração e circulação na via e, uma passagem segura e estanque para os passageiros.

O veículo funciona a 750 V corrente continua, e não 15000V como tradicional das catenárias de linhas de comboio, devido ao ambiente urbano em que está inserido, sendo esta entregue através da catenária e do pantógrafo presente no tejadilho. A baixa voltagem comparado com os comboios de maior dimensão faz com que não haja a necessidade de grandes transformadores e retificadores o que poupa bastante em peso e espessuras do veículo. Tem a desvantagem pelo simples facto de que corrente continua a baixa voltagem gera uma grande perda pela catenária.

Esta alimentação é introduzida no veículo para os conversores auxiliares e conversores de tração presentes no tejadilho, sendo estes responsáveis pelo controlo de diversos parâmetros do veículo e pela potencia a ser fornecida aos motores, respetivamente.

O tejadilho é um do ponto crucial deste veículo visto que o bogie que equipa esta viatura tem um design especial para redução de altura do veículo, sendo este de piso 100% rebaixado, o que faz com que todos os acessórios do veículo necessitem de ser armazenados no tejadilho. Neste estão incorporados tantos os conversores de tração e auxiliares como todo o sistema AVAC, unidades de controlo, baterias e respetivos carregadores, o que os expõe à radiação solar e às intempéries.

7 Desenvolvimento e análise do sistema de portas do EuroTram

7.1 Caracterização da porta e sua inserção no veículo

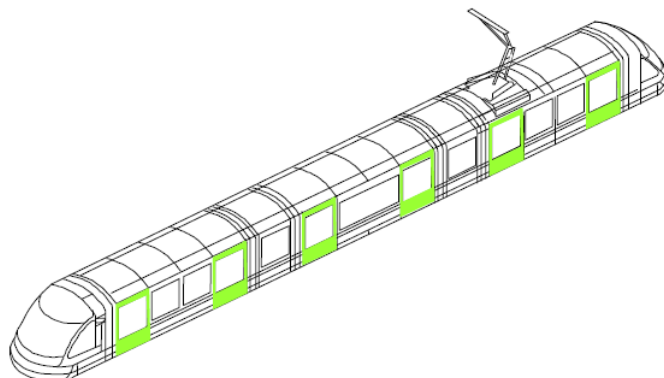


Figura 19: Esquema de portas

Cada veículo da frota EuroTram é constituído 3 salões de 4 portas cada, duas direitas numeradas em 1 e 3 e duas esquerdas numeradas em 2 e 4, por salão de passageiros. Dentro das doze portas que constituem cada veículo, duas delas são as portas de serviço, B1 e F3, para acesso do condutor e pessoal da manutenção. Estas portas encontram-se do lado direito de cada extremidade do veículo e o seu acesso pode ser tanto elétrico através de um botão como mecânico, em caso de avaria, por meio de uma chave.

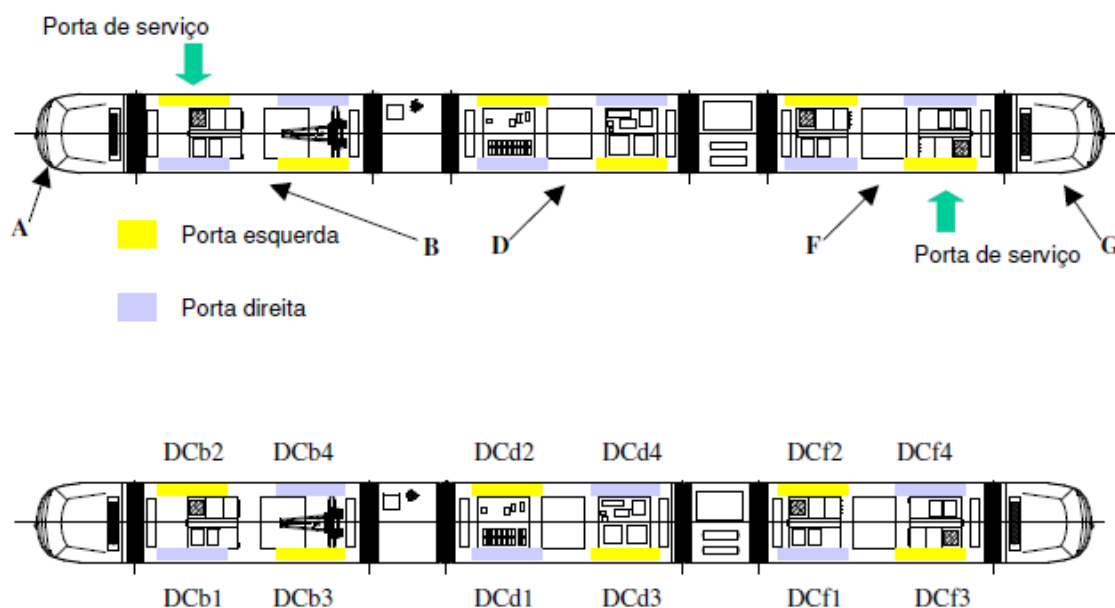


Figura 20: Mapa de portas do veículo

As dimensões de passagem da porta são de 1350*1950 mm de largura e altura respetivamente. A porta é de folha única e do tipo oscilante-deslizante. Outras especificações da porta podem ser consultadas no Anexo I.

O movimento da porta é inicialmente feito por um movimento de abertura para o exterior, oscilante e, em seguida, por um deslizante. No movimento de fecho dá-se o inverso.

Conjunto Porta:

1. Mecanismo de acionamento
2. Unidade de Controlo UCP
3. Barra de coordenação vertical
4. Folha da porta
5. Vedações
6. Sistema de segurança
7. Vidro
8. Manipulo de emergência
9. Manipulo de abertura para o exterior

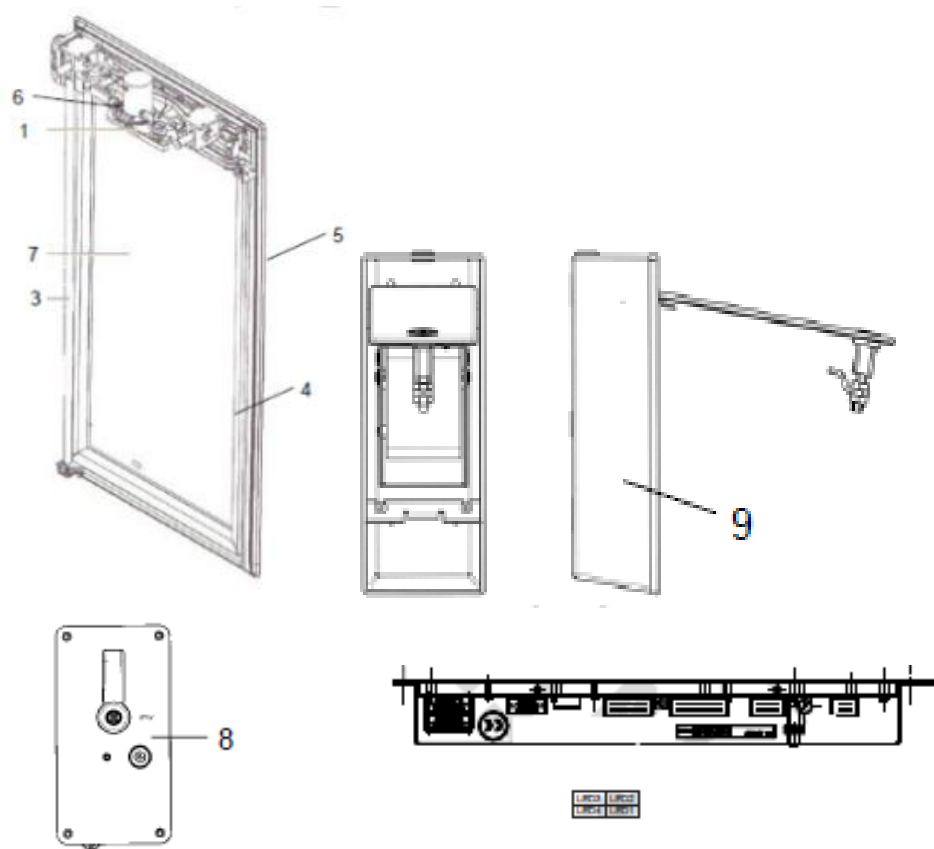


Figura 21: Conjunto da porta

7.2 Caracterização do conjunto Porta

7.2.1 Mecanismo de acionamento

O mecanismo de acionamento encontra-se por cima da porta e, é o subsistema com a função de abertura e fecho da porta através de um conjunto mecânico de bielas, correias e de um motor elétrico.

Este é constituído pelo:

- Suporte da porta (1)
- Sistema de acionamento (2)
- Sistema de bloqueio (3)
- Sistema de controlo (4)

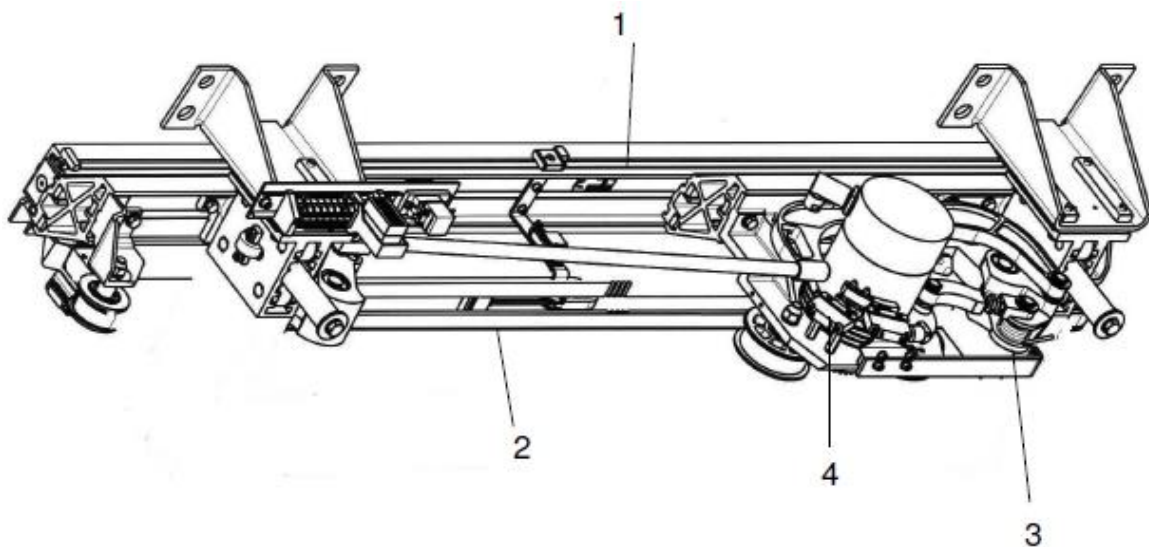


Figura 22: Mecanismo da porta

7.2.2 Suporte da porta

O suporte da folha da porta é assegurado pelo suporte em alumínio e por um sistema telescópico (2) composto por três elementos. A peça de suporte, tem dois sistemas excêntricos que permitem, a afinação do paralelismo da folha da porta.

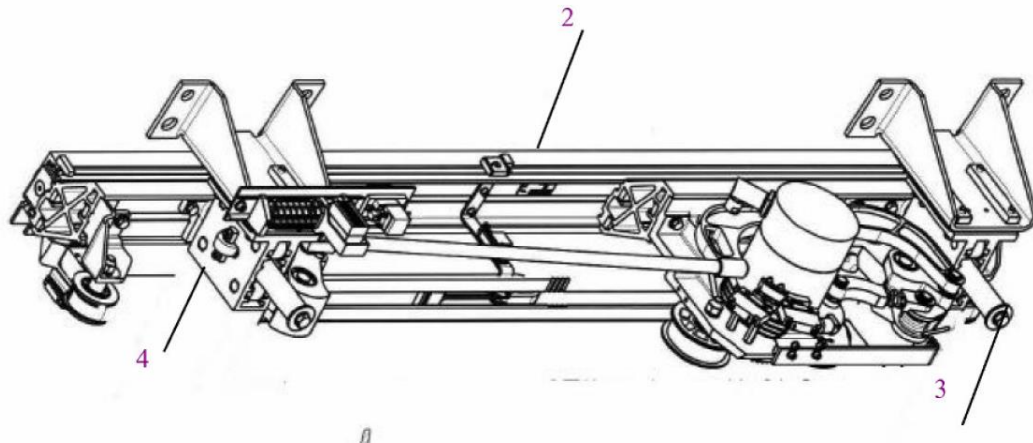


Figura 23: Suportes do mecanismo da porta

Suporte do mecanismo (4) está fixo à estrutura do veículo onde estas suportam e guiam o sistema através do suporte do telescópico (3). O suporte do mecanismo está equipado com um conjunto de roletes para permitir o movimento oscilante.

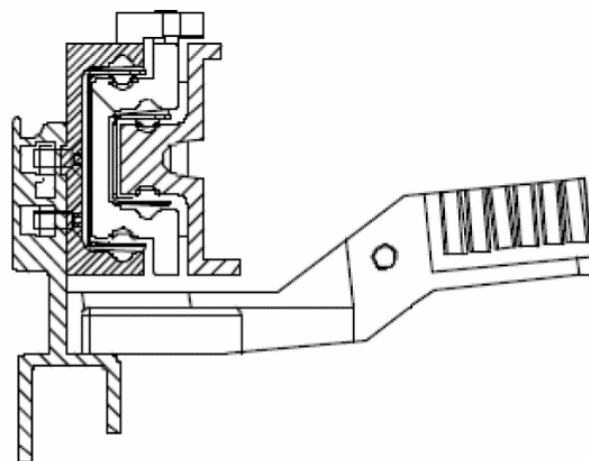


Figura 24: Perfil do sistema telescópico da porta

O telescópico de três elementos permite a translação da porta e está fixo ao suporte do telescópico (guias) (3).

7.2.3 Sistema de acionamento

A peça responsável pelo acionamento da porta é um conjunto motor-redutor. O movimento deslizante é assegurado por um sistema de correia dentada e polias comandadas por um veio de saída do redutor. O movimento oscilante é realizado pelas bielas, que simultaneamente, movimenta os dois suportes telescópicos assegurando o movimento paralelo da folha da porta. As bielas são também acionadas pelo veio de saída do redutor.

7.2.4 Sistema de bloqueio

O sistema de bloqueio da porta é garantido pelo acionamento da biela de bloqueio pelo motor elétrico, esta comanda ainda todo o movimento oscilante da porta. A passagem do ponto de apoio é garantida pela rotação do estator do motor-redutor. No modo manual, a passagem de ponto de apoio é garantida por uma mola de bloqueio acionada pela tração de um cabo ligado ao manipulador de emergência. O mecanismo da porta esta equipada com dois batentes de fim de curso, um para o fecho da porta e outro para o movimento telescópico para o exterior. Este sistema possui dois sensores de porta fechada, DLS (*Door Locked Switch*) e DCS (*Door Closed Switch*), que verificam a operação de bloqueio e o estado de fecho da porta.

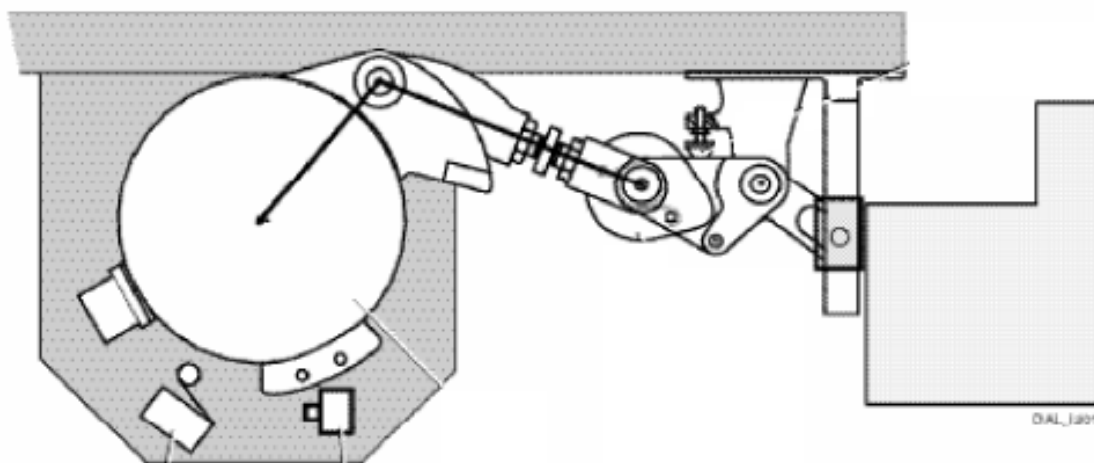


Figura 25: Sistema de bloqueio da porta

7.2.5 Sensores

Os dois sensores pertencentes ao sistema da porta, DLS e DCS localizam-se juntos ao motor. O sensor DLS fornece o sinal á UCP do estado da porta (posição aberta/fechada) e o DCS fornece a distância do ponto de apoio. Os sensores têm duas posições NC e NO. A primeira é usada para as verificações da UCP e a segunda é usado para o laço da porta (linha de segurança do comboio). São mecanicamente ligadas, mas independentes eletricamente entre si. A lógica do veículo utiliza o estado destes dois sensores através dos seus contactos NC e NO.

7.2.6 Folha da Porta

A folha da porta é toda a estrutura que veda a zona de saída. É composta por perfis em alumínio extrudido, soldados entre si, pelo vidro, pelas vedações e pelo botão de abertura. A estrutura em alumínio é o que permite segurar toda a folha ao mecanismo de telescópico e de guiamento da porta. O vidro tem 6mm de espessura e é colado na face exterior da folha. As vedações são em borracha EPDM fixas à estrutura da porta e de forma a vedarem e encostarem bem a folha à caixa da porta. A folha contém também um rolete inferior guia, que circula numa calha na soleira, para ajudar no movimento da porta.

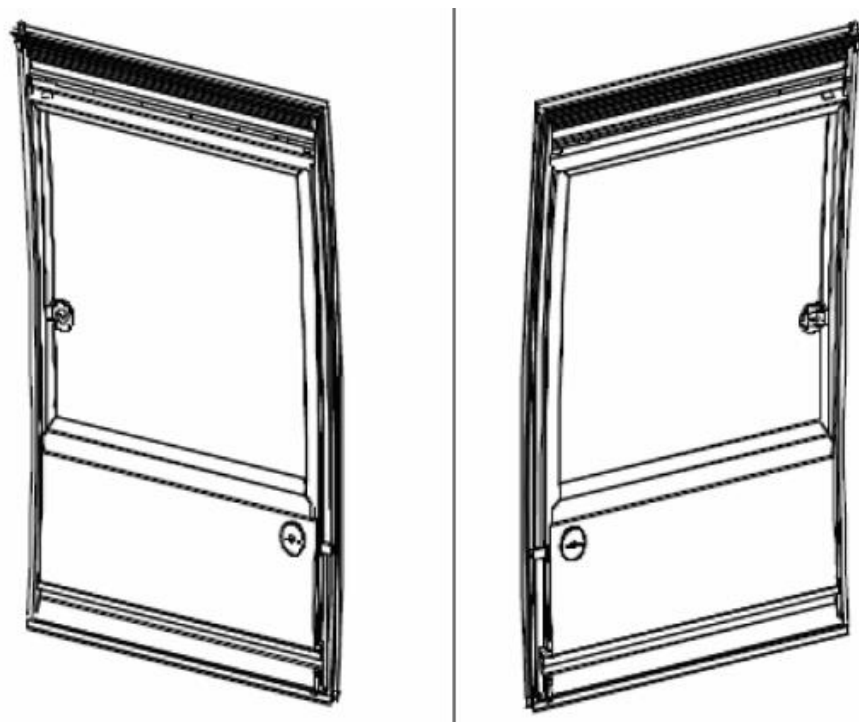


Figura 26: Folha da Porta

7.2.7 Mecanismo de isolamento

Este mecanismo encontra-se presente em todas as folhas do veículo para que, em caso de avaria, seja possível isolar as portas e permitir que veículo circule em segurança até ao posto de manutenção. É composto por um trinco e um interruptor. O primeiro encontra-se na folha da porta enquanto o interruptor se situa na caixa da porta. A rotação do eixo do mecanismo, através de uma chave quadrada, permite o bloqueio mecânico da porta pelo trinco e, o isolamento elétrico desta através do interruptor.

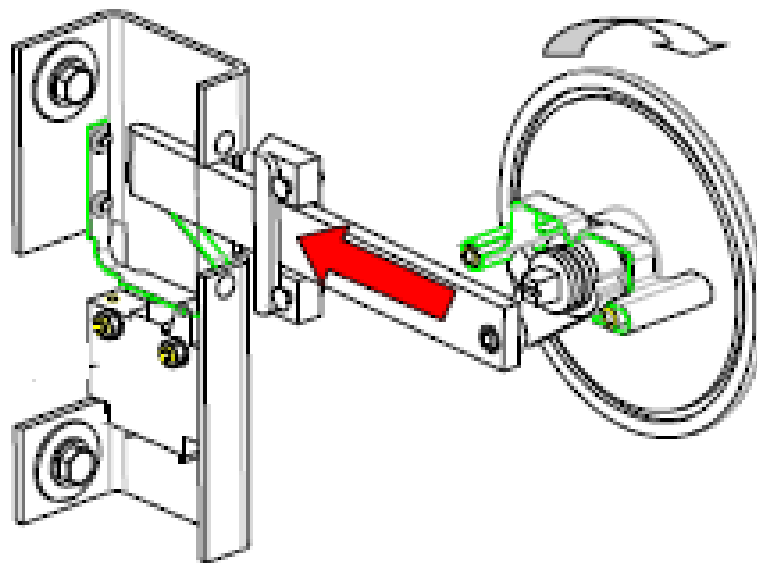


Figura 27: Mecanismo de isolamento

7.2.8 Barra de coordenação vertical

A barra de coordenação vertical é o mecanismo que garante o correto guiamento da folha da porta durante os movimentos de abertura/fecho.

Este mecanismo encontra-se fixo e é composto, nas extremidades, por dois suportes superior e inferior respetivamente que se encontram presos à caixa da porta. Esta barra possui também dois braços em cada extremidade, com roletes, que garantem o guiamento correto da folha.

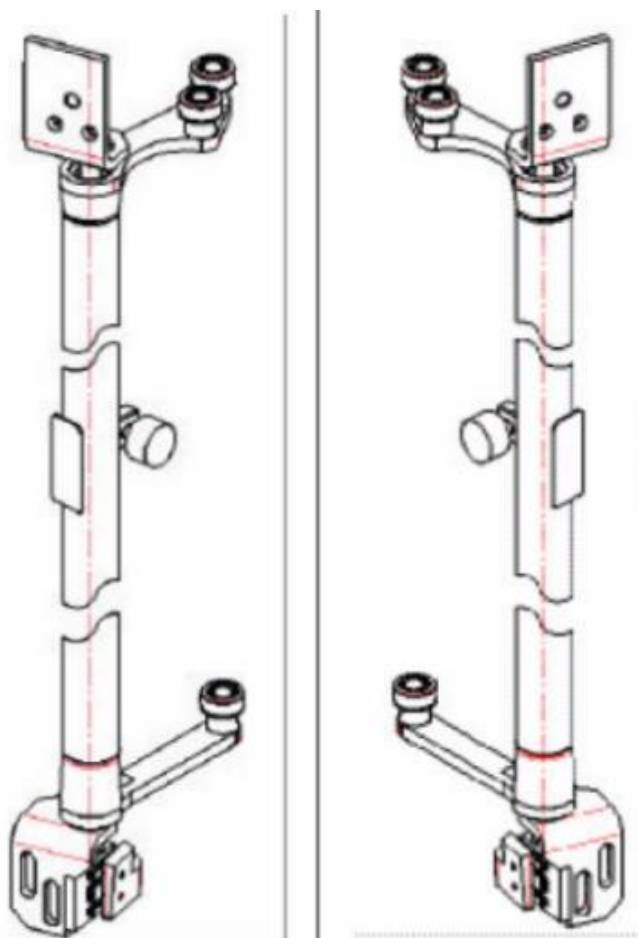


Figura 28: Barras de coordenação vertical esquerda e direita

7.2.9 Unidade de controlo UCP

O controlo e comando das portas é realizado pela unidade de controlo UCP. Esta encontra-se localizada junto à porta e por cima desta, para fácil acesso em caso de falhas ou avarias e, para que o sinal sonoro emitido no momento de fecho da porta, como sinalização de aviso e segurança esteja também ali localizado.

A UCP é constituída por:

- Cartas eletrónicas
- Caixa metálica, com todas as ligações fixações e conexões

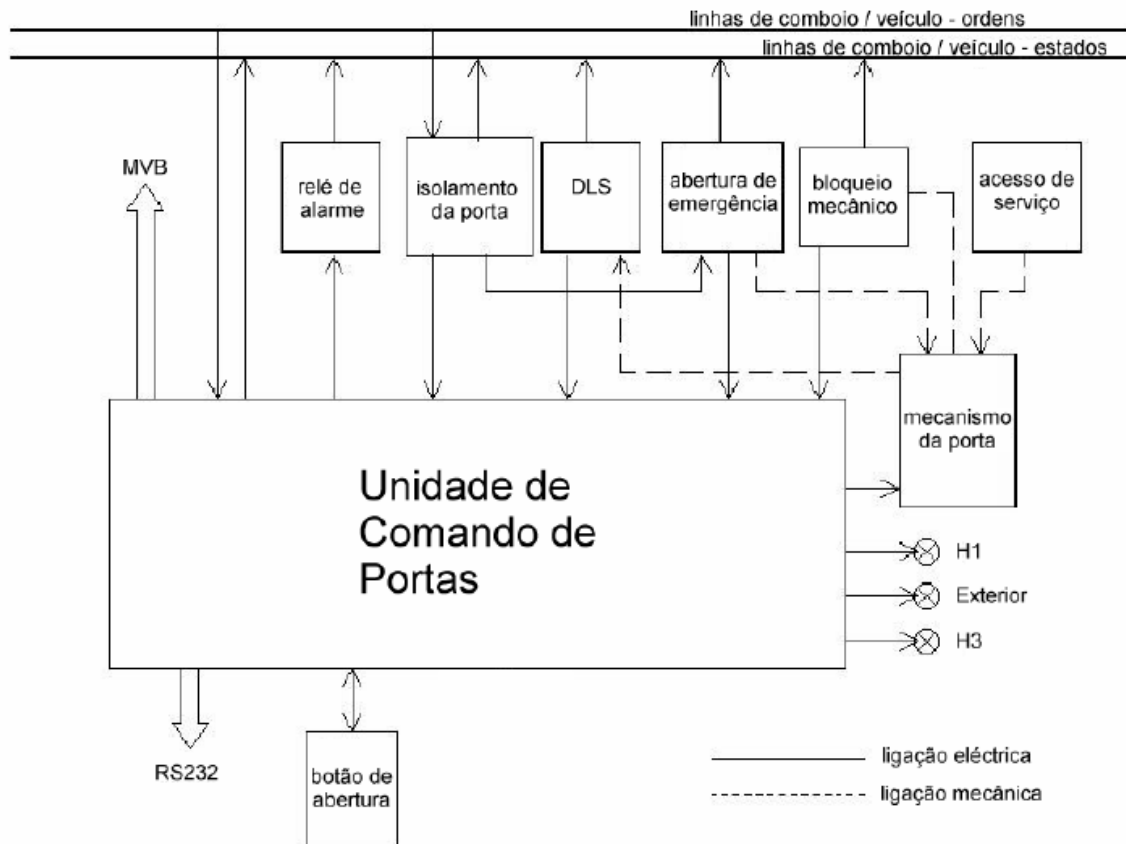


Figura 29: UCP

E recebe inputs de diferentes sensores como:

- DLS
- DCS
- Laço de segurança
- Sinais de linha de veículo (baixa velocidade, libertação e abertura direita e esquerda, fecho)

O comando do motor é também assegurado pela UCP, alimentados a 24Vcc.

O modulo da UCP contem leds que indicam os estados da porta. Esta está instalada de forma a fácil remoção ou intervenção e sem a necessidade de uso de ferramentas especiais.

O sistema de segurança é também garantido pela UCP. Este, através da edição de picos de corrente pelo motor, é capaz de detetar qualquer obstáculo ao fecho da porta. A unidade deteta um aumento de corrente num intervalo de 0,5 segundos, de modo a diminuir a força exercida e evitar esmagamentos. A dimensão mínima capaz de ser detetada terá de ter as

dimensões mínimas de pelo menos 60x30 mm e cantos arredondados de 5 mm. Um obstáculo inferior a 50*10 no caso de não ser detetado pela porta, pode ser removido com uma força inferior a 150N. O teste ao funcionamento deste sistema de segurança é realizado através de uma ferramenta especial colocada entre a folha e a caixa desta a 200 e a 1000 mm do nível do chão do veículo.

7.2.10 Manípulo de emergência

Este manípulo encontra-se junto à porta, de forma a permitir o acesso a passageiros em caso de emergência.

Este manípulo contém os seguintes elementos:

- Manípulo, selado com arame de chumbo
- Sensor com output para a UCP
- Fecho eletromagnético (bloqueio na posição de alarme)
- Interruptor de ativação de microfone e altifalante de comunicação entre condutor e passageiro

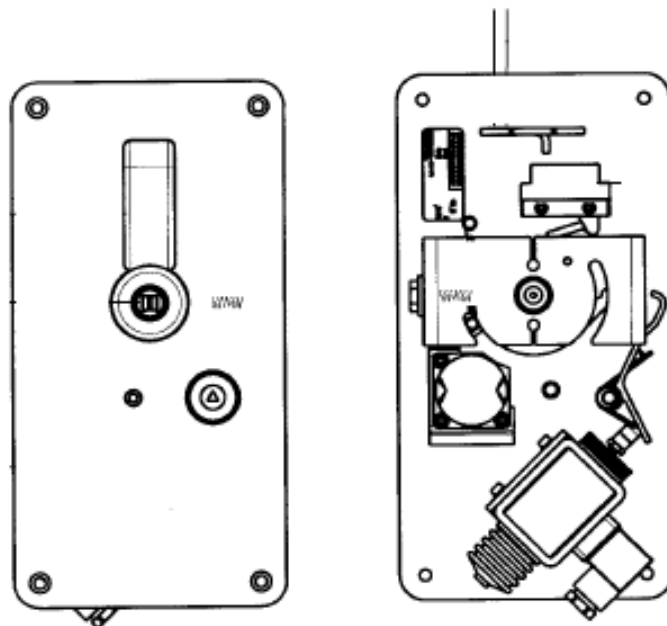


Figura 30: Manípulo de emergência e sistema de funcionamento

E possui 3 posições:

- Repouso
- Posição de alarme para comunicação com o condutor
- Posição de emergência que permite a abertura de porta em certas circunstâncias

A posição de alarme, 90 graus, é usada com o objetivo de haver comunicação entre condutor passageiro, para avaliação de criticidade da situação, provocando a abertura do laço de segurança, mas não a possibilidade de abertura de porta.

A posição de emergência, rotação horária de 180 graus, provoca a abertura manual da porta e desencadeia as seguintes etapas: a atuação do interruptor envia um sinal à UCP para isolamento de potência ao motor elétrico e, quando puxado o cabo de emergência, que se encontra ligado ao conjunto motor-redutor, provoca a sua rotação, o que por sua vez, atua a biela de bloqueio que passa para o ponto de apoio provocando o desbloqueio da porta. Esta posição só pode ser alcançada com o veículo parado.

O manipulador é rearmado apenas através da chave quadrada.

7.2.11 Manipulador de abertura manual exterior

O manipulador de abertura manual exterior (9) está localizado, do lado direito, junto às portas e permite o acesso de serviço. Este manipulador apenas deve ser utilizado em caso de falha de abertura automática de porta. É constituído por uma tampa de proteção e um manipulador que quando acionado, num ângulo de cerca de 56 graus, traciona o cabo de abertura de serviço conectado ao motor fazendo-o rodar. Posteriormente, este desativa a biela de bloqueio do sistema. Após atuação o manipulador volta à posição original, de 0 graus, devido ao efeito da mola. A abertura da porta pode ser também realizada através de uma chave quadrada.

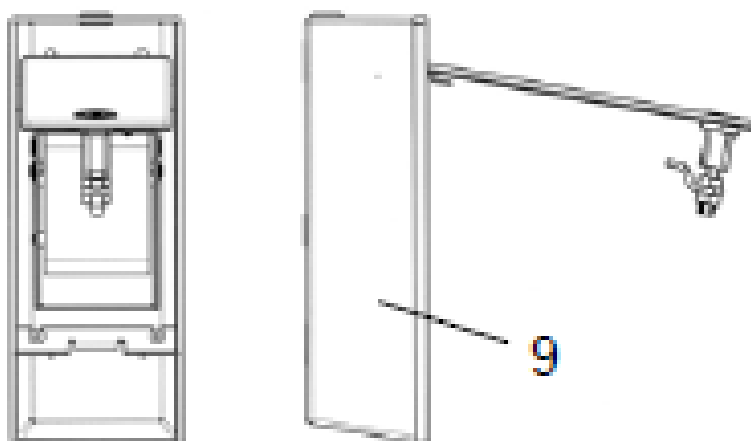


Figura 31: Manipulador de abertura exterior

7.2.12 Laço de segurança

Um dos dispositivos de segurança é o impedimento de arranque do veículo no caso de existir alguma porta aberta/mal fechada. Este dispositivo, montado em serie, é um barramento ao longo de todas as portas (laço de segurança das portas), que verifica o estado fechado da porta antes de iniciar a marcha. Este dispositivo pode ser rompido através da falha de contacto com os sensores de posição da porta e, por isso, mal a lógica do veículo verifique alguma falha abre o circuito. Uma das maneiras de fechar este circuito é através do isolamento mecânico e elétrico feito pelo mecanismo de isolamento. Este irá fechar outra vez o circuito de segurança e eliminar a porta isolada do sistema.

Como visto anteriormente, outros dispositivos de segurança passam pela sensibilidade a obstáculos pelos picos de corrente no motor e os manípulos de alarme e emergência que se encontram dentro do salão.

Apenas o condutor ou o sistema homem-morto são capazes de possibilitar a abertura mecânica da porta para o passageiro.

7.3 Caracterização do funcionamento e movimento da porta.

O movimento de abertura da porta, com um tempo de ciclo inferior a seis segundos á tensão nominal, é faseado em 3 partes distintas.

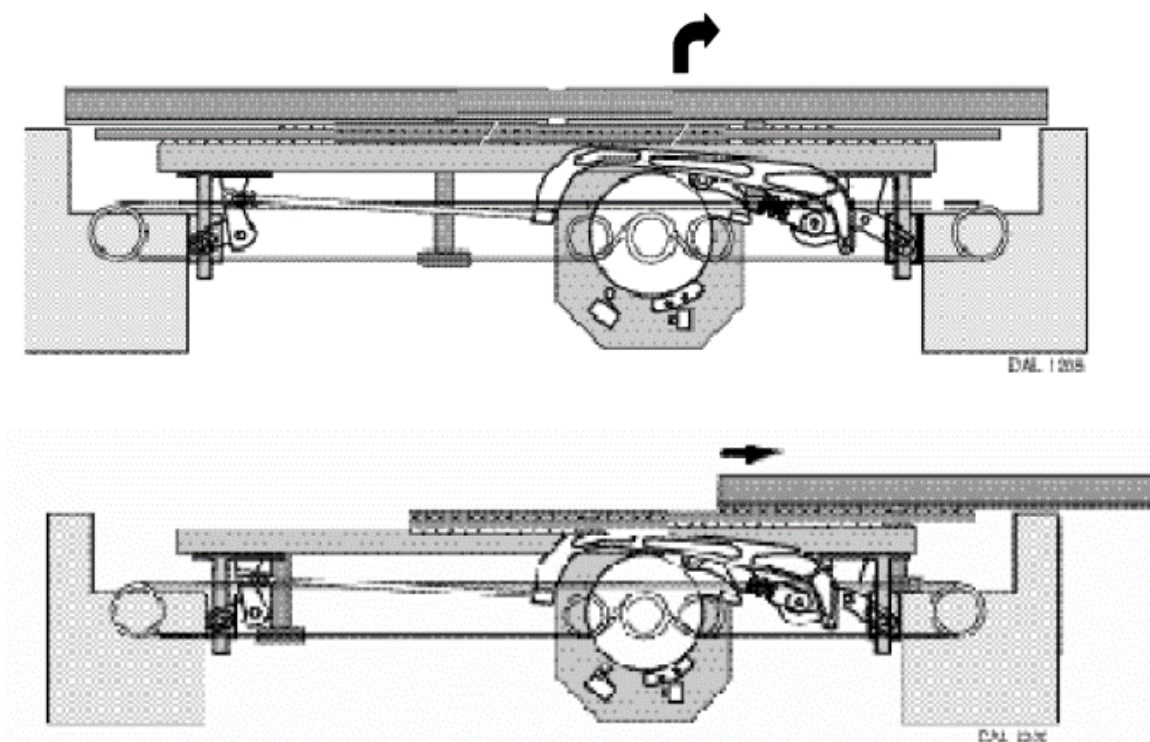


Figura 32: Movimento de abertura oscilante e Movimento de abertura deslizante

Na primeira fase, onde a porta se encontra fechada e bloqueada, o estator está posição de fecho e o DLS está ativo, a UCP recebe a ordem de abertura analisando os sinais presentes nela. Posteriormente fornece energia ao motor que faz rodar o estator e este por sua vez a polia, mas, devido á posição da biela de bloqueio e dos roletes do braço superior da barra vertical o movimento de translação da porta é bloqueado. Não sendo possível o deslocamento da folha da porta, com a correia parada, a rotação do estator faz com que se de o movimento do conjunto das bielas e dando-se assim o movimento de saída telescópico da porta. Após a passagem do ponto de apoio, a correia é acionada, podendo assim iniciar o seu movimento de translação guiada pelos roletes e pelas guias presentes na soleira.

A segunda fase é caracterizada pela saída da folha da porta, rodando o braço superior da barra de coordenação em torno do seu eixo, enquanto os roletes ficam numa posição que permita o movimento de translação da folha. A rotação da correia ligada ao motor faz então

com que a folha se desloque paralelamente ao veículo guiados pelas guias superiores e inferiores.

Finalmente, a 3ª fase de abertura é dada pelo contacto com o fim de curso de saída da porta, continuando o seu movimento de translação. No final a UCP corta a alimentação ao motor e a folha e suportes apoiam-se nos batentes.

O movimento de fecho é realizado também em 3 fases.

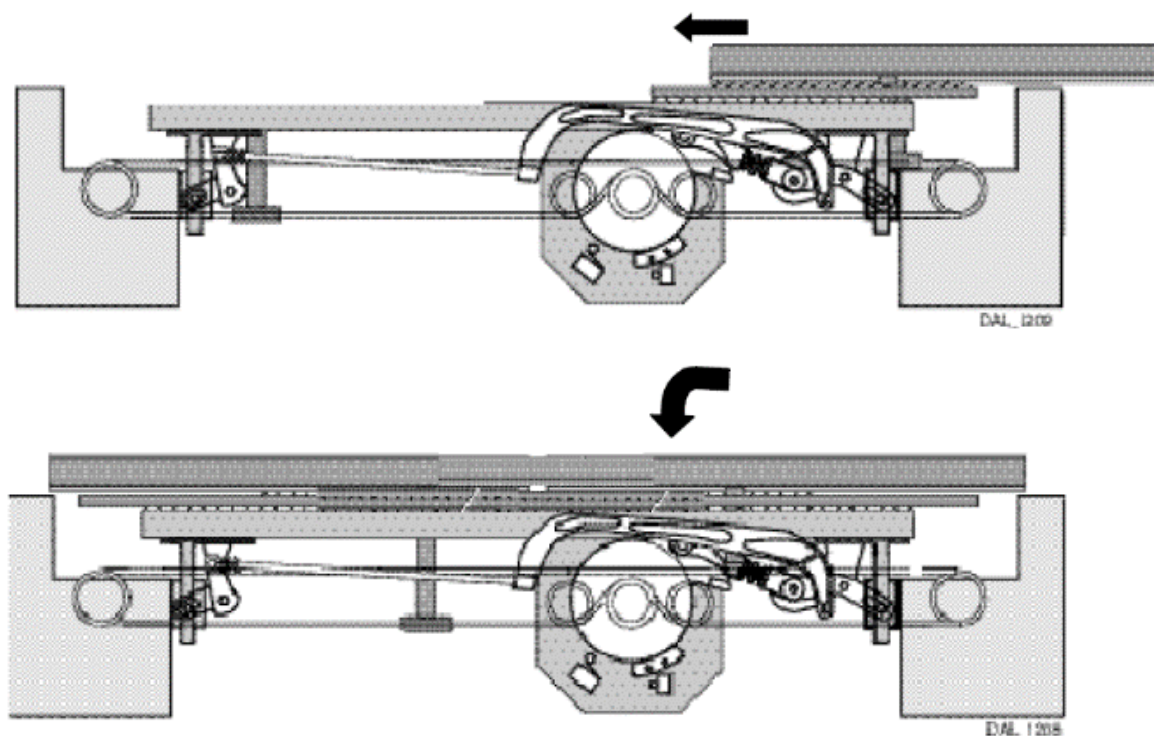


Figura 33: Movimento de fecho deslizante e Movimento de fecho oscilante

Na primeira o motor aciona a correia no sentido de fecho e a folha inicia o movimento de translação guiada pelos roletes.

A segunda fase é dada pelo fim de movimento de translação da folha e, contacto desta com os batentes superiores, o que faz com que rode a barra de coordenação vertical e, esta inicie o movimento telescópico em direção à caixa da porta e a biela de bloqueio atinga o ponto de apoio numa terceira fase. Esta fase é continuada pela rotação e binário do motor que asseguram a passagem do conjunto de bielas para além do ponto de apoio e bloqueio da porta.

No final, então, os batentes de fim de curso encostam aos sensores DCS onde este é atuado e posteriormente o DLS. A UCP desliga então a alimentação do motor.

7.3.1 Comando das portas

O controlo das portas do veículo é realizado pelo condutor que tem a capacidade de:

- Comandar a abertura de cada lado do veículo ou ambos
- Habilitar ao passageiro a abertura
- Comando do fecho de portas

E existem dois modos de abertura, a autorizada pelo condutor em que cada porta irá apenas abrir quando o pedido (passageiro prime botão de abertura) e a abertura realizada pelo condutor.

Para a realização de cada comando das portas existem botões específicos como:

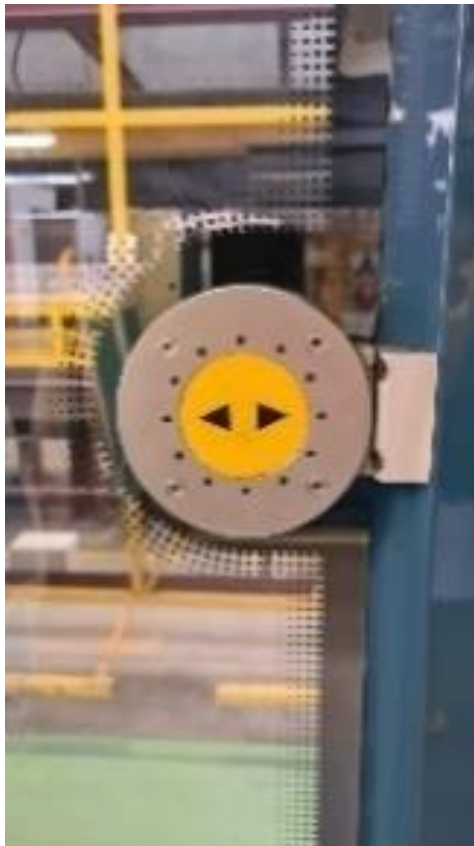


Figura 34: Botão de abertura de portas pelo passageiro



Figura 35: P6-1 Autorização de abertura de porta do lado esquerdo



Figura 36: P6-2 Comando para abertura de portas

Figura 37: P6-3 Autorização de abertura de porta do lado direito



Figura 38: P6-4 Comando para fecho de portas

Em caso de emergência, para desabilitar uma porta específica o condutor terá de ir até esta e utilizar a chave quadrada. A porta deve estar completamente fechada de modo a

possibilitar a rotação do mecanismo de isolamento. No entanto, o condutor pode isolar uma porta através do botão P2-4 presente na mesa de condução, com a condicionante de esta ter de estar totalmente fechada.

Outro elemento de segurança é o botão para Pessoas de Mobilidade Reduzida (PMR) que se encontra do lado esquerdo do salão, na zona para o efeito, e que tem a função de avisar o condutor de uma paragem mais prolongada para permitir a saída de alguém nestas condições.

A autorização dada pelos comandos P6-1 e P6-3 apenas é permitida de tiver autorização por parte da LV e o veículo encontrar-se a uma velocidade inferior a 3 Km/h.

8 Sistema de frenagem

O veículo EuroTram incorpora três tipos de freios com intervenção dependente do contexto operacional.

Função: reduzir a velocidade ou imobilizar o veículo durante a sua operação de serviço, emergência ou parque de forma eficiente, segura, progressiva e dentro dos valores de aceleração pré-definidos. A frenagem é feita, pelo maquinista, e controlada através das posições do manipululo de condução (P1-5). Outro controlo de frenagem é feito através do botão de aplicação de freio (P1-4) ou socorro (P5-1).

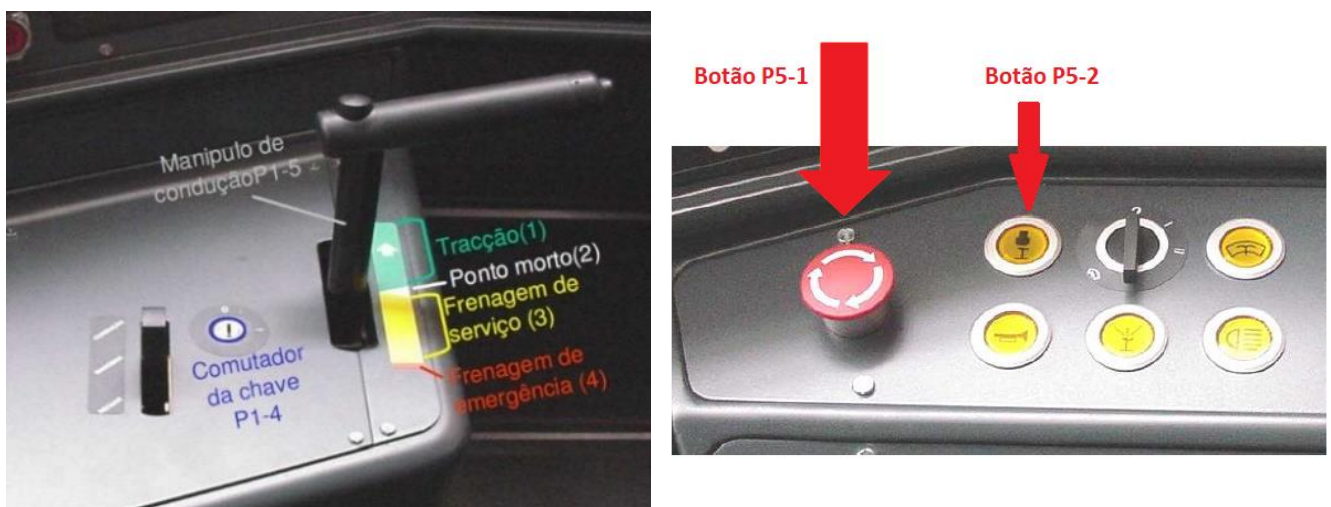


Figura 39: Posto de comando e controladores

Operacionalmente sistema é composto pelos subsequentes métodos de frenagem:

- Frenagem de serviço
- Frenagem de emergência
- Frenagem de parque
- Frenagem de imobilização
- Frenagem máxima de serviço
- Frenagem eletromagnética
- Frenagem de socorro

As diferenças entre os tipos de frenagem são descritas na imagem seguinte e descrição de atuação caracterizada no anexo III:

Modos	Comando	Desempenho	electrodinâmica	hidráulica	areia	patim
Serviço	manípulo de condução P1-5	1.2 m/s ²	Sim	Sim	Sim	Não
Emergência	manípulo de condução P1-5	2.4 m/s ²	Sim	Sim	Sim	Sim
Parque	comutador da chave do condutor P1-4	gradiente máximo 8%	Não	Sim	Não	Não
Imobilização	manípulo de condução P1-5	gradiente máximo 8%	Não	Sim	Não	Não
Máxima	AUTO	1.3 m/s ² *	Sim	Sim	Sim	Não
Electromagnética	Botão P5-2 ou AUTO	-	Não	Não	Não	Sim
Socorro	Botão P5-1	1.3 m/s ²	Não	Sim	Sim	Sim

* - ajustado para uma carga do veículo de 47 toneladas

Figura 40: Quadro de caraterísticas dos diferentes tipos de frenagem

O sistema de frenagem é composto por 3 tipos de freios:

1. Freio eletrodinâmico
2. Freio eletromagnético
3. Freio Hidráulico

Todos estes tipos de freio serão explicados mais à frente, sendo o hidráulico mais aprofundado e o único a ser analisado pela metodologia. Relativamente a algumas características destes tipos de frenagem estes podem ser consultados e comparados no Anexo

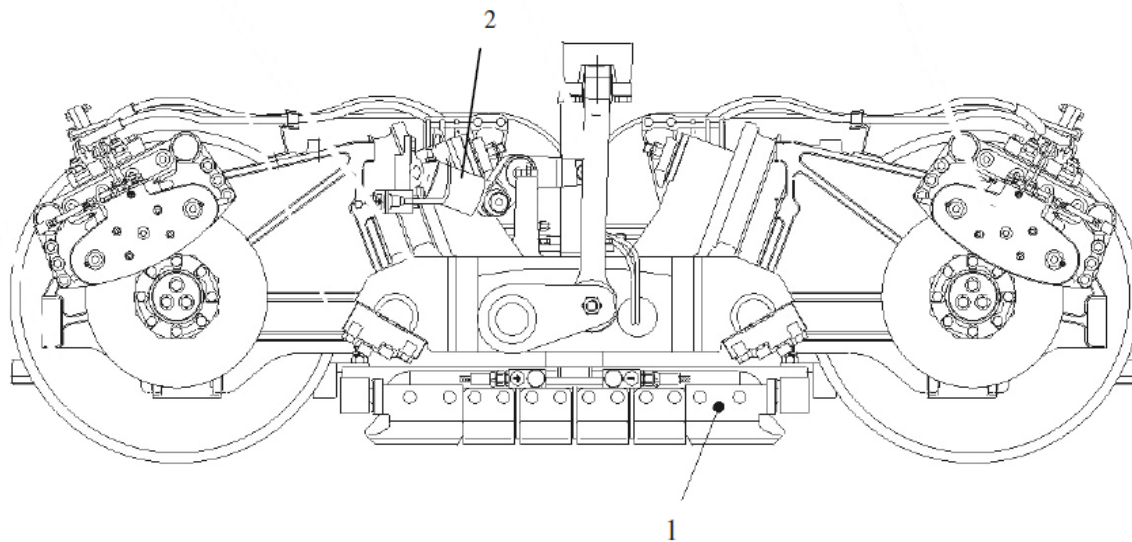
III

8.1 O freio eletrodinâmico

É a operação de frenagem realizada pelos motores de tração que, através da inércia do veículo e rotação, funcionam inversamente como geradores retirando energia ao sistema e desacelerando-o. A energia retirada pelos motores é reconvertida em contínua e é enviada para a catenária. Caso a catenária não seja capaz de absorver toda a energia produzida, esta é enviada e dissipada por um conjunto de resistências do conversor de tração. Este freio atua independente dos outros tipos de frenagem para velocidades entre 5 km/h e 25 km/h e fora desta gama é uma combinação.

8.2 O freio eletromagnético

Serve como capacidade de frenagem adicional, mecanicamente independente dos outros sistemas e é constituído por um patim eletromagnético e um mecanismo de ajuste de altura para corrigir o desgaste deste e compensar a perda de altura por aumento de carga pelos passageiros.



Nº	Descrição
1	Patim electromagnético
2	Mecanismo de ajuste

Figura 41: Perfil do Bogie com identificação do sistema de freio eletromagnético

O mecanismo de ajuste é composto pelo cilindro hidráulico e por uma tomada de pressão que ajusta a altura. Quando este feio é acionado, o patim é atravessado por uma corrente elétrica provocando um campo magnético que faz com que haja um deslocamento do patim em direção ao carril e provoque, por isso, uma desaceleração devido ao atrito entre as duas superfícies. O patim é composto por uma bobine de magnetização, corpo de aço soldado com forma de caixa isoladora das condições ambientais de serviço, por elementos ferromagnéticos móveis individuais de diferentes tamanhos de forma a aumentar e melhorar o contacto em reta e em curva e por molas de retorno para garantir que o patim volta à posição inicial.

8.3 O freio hidráulico

É constituído pela HPU, pelos disco de freio e duas pastilhas e pelos calipers (conjunto atuador hidráulico). Cada bogie é composto por quatro conjunto de freios, quatro conjuntos de atuadores e uma HPU (responsável pela geração e gestão da pressão hidráulica do sistema). Cada conjunto destes é capaz desenvolver uma capacidade máxima de frenagem de 40 kN.

Os atuadores são de ação inversa, isto é, na ausência de pressão hidráulica estes fazem as pastilhas de freio atuar nos discos. A HPU, unidade de controlo e armazenamento do fluído hidráulico, controla a quantidade de óleo a retirar em cada situação, travagem de emergência, de serviço ou parque. A HPU tem duas funções principais, produção e controlo de pressão e é composta por motor, bomba, válvulas, pressostatos e acumuladores de pressão ligados através de tubagens e seus acessórios.

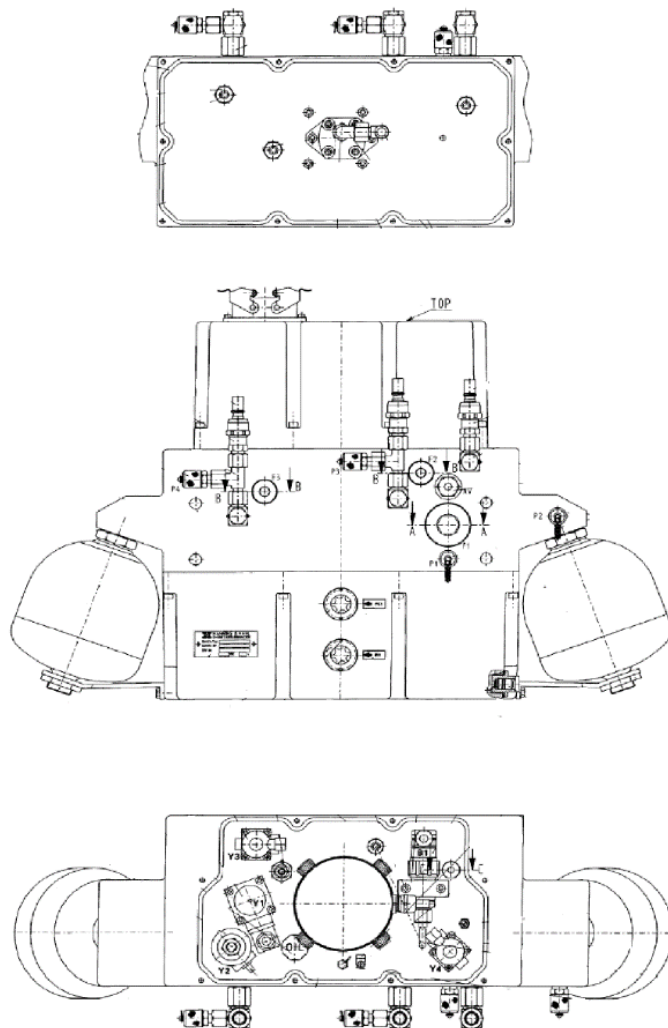


Figura 42: HPU

A unidade de controlo eletrónica dos freios, BCU, controla a frenagem do bogie baseados nas informações recolhidas pelos sensores de peso, velocidade e interruptores de posição de atuadores e manípulo de libertação manual dos freios.

Nº	Descrição	Nº	Descrição
AV1	Válvula de purga do acumulador de emergência	P3	Tomada de pressão (circuito de freio inverso)
B1	Pressostato (acumulador)	P4	Tomada de pressão (circuito de libertação de freios)
F1	Filtro primário	Y1	Válvula proporcional de pressão
F2, F3	Filtro Secundário	Y2	Válvula 2/2
P1	Tomada de pressão (bomba)	Y3	Válvula 3/2
P2	Tomada de pressão (acumulador)	Y4	Válvula 3/2 linhas auxiliares

Tabela 7: Descrição componentes HPU

A unidade de gestão de pressão é constituída por:

- Tanque de Óleo

O óleo da HPU fica aqui armazenado até ser utilizado pelo circuito através das bombas

- Bomba de engrenagem

Encontra-se no interior do tanque e é acionado pelo motor de corrente continua acoplado à bomba através de uma chaveta.

- Motor de corrente continua

Está montado axialmente com a bomba.

- Válvula de segurança (VS)

Sistema de segurança da HPU para casos de pressões elevadas (170 bar). Neste caso a válvula abre permitindo a passagem de óleo e o controlo da pressão máxima admissível.

- Válvula antirretorno

Garante que o óleo não flua no sentido inverso ao projetado

- Filtro F1

Filtra o óleo que sai da bomba, antes de passar pela válvula antirretorno para o sistema hidráulico e acumuladores. Para efeitos de serviço, o filtro está acessível através do exterior da HPU.

- Pressostato

O pressostato mede a pressão de óleo no acumulador e controla o motor da bomba. Se a pressão no acumulador cair abaixo da pressão mínima admissível este aciona o motor. Caso exceda o motor é desligado.

- Válvula de drenagem do acumulador auxiliar

Possibilita a drenagem do óleo dos acumuladores de emergência

- Acumuladores hidráulicos

São utilizados para acumular óleo sob pressão fornecida pela bomba da HPU. A sua capacidade e pressão máxima são de 1.4 litros e 115 bar respetivamente. Nestes está também contido o azoto à pressão de 110 +/-3 bar que permite uma rápida injeção de pressão no óleo impedindo que o motor-bomba tenha de colocar a pressão do óleo desde a ambiente até à necessária para frenar.

As perdas dadas nos acumuladores fazem com que a ativação da bomba seja mais frequente, dando assim um maior desgaste. Nesta situação a BCU avisa para a necessidade de manutenção. As electroválvulas são sujeitas a testes periódicos para busca de falhas ou avarias.

A unidade de controlo de pressão é composta por:

- Filtro F2: Filtra o óleo que passa nas válvulas Y3 e Y1 de qualquer contaminação que possa ocorrer no circuito hidráulico.
- Filtro F3: Filtra o óleo que passa na válvula Y4 e retorna para o reservatório.
- Válvula 2/2 (Y2): A válvula atua quando o veículo se encontra em modo de tração e bloqueia a passagem do óleo para o cárter o que permite manter a pressão nos

atuadores. Nos momentos de frenagem está deixa de estar energizada e passa a fazer passagem de óleo da válvula Y1 para o reservatório (cárter).

- Válvula proporcional de tomada de pressão (Y1): esta válvula relaciona o comando elétrico dado pelo manípulo e consequente amplificação de sinal pela VSS com a pressão hidráulica exercida. Quanto maior for o input na válvula maior será a queda de pressão e consequentemente maior força de frenagem. Numa situação de ausência de corrente, origina-se uma queda de pressão no nível do tanque e consequentemente uma força máxima de frenagem é aplicado ao disco de freio.
- Tomada de pressão (P3, P4): admite a conexão de um manómetro de pressão como permite a drenagem do circuito. Esta é do tipo rápida e encontra-se na parte exterior da HPU.
- Válvula antirretorno (CV-TS): Evita que o óleo do circuito hidráulico de libertação dos freios retorne ao circuito de aplicação de freio inverso.
- Válvula 3/2 (Y3): Válvula sempre energizada que permite a circulação de óleo entre a válvula Y1, Y3 e o filtro F3 e os atuadores. Estabelece também conexão entre o circuito de saída e de segurança. A corrente elétrica é sempre aplicada á válvula Y3 com exceção dos casos de frenagem de emergência, onde a válvula é comutada e passa a direcionar o óleo para o reservatório através da válvula de alívio de pressão Y5.
- Válvula de alívio de pressão (Y5): Válvula dos 41 bar, deixa passar todo o óleo ao cárter impedindo que seja aplicada a força máxima instantânea nas rodas. Tem a função de impedir danos na HPU por pressões superiores a 170 bar (valor ajustável). Quanto este valor é atingido esta reencaminha o óleo para o reservatório. Em situações normais de operação esta pressão é mantida estável, também para evitar bloqueios e danos consequentes nas rodas e carris.
- Válvula 3/4 (Y4): em condições normais de operação a válvula nunca está em atuação. Esta apenas é energizada no caso de libertação dos atuadores, o que faz com que a pressão externa do acumulador de emergência seja transferida para os atuadores isolando assim os freios. Quando não energizada, a válvula comuta, fazendo com que o óleo seja removido para o reservatório, provocando uma força máxima de frenagem no disco.

8.3.1 Conjunto atuador

Cada bogie apresenta quatro conjuntos de atuadores, alimentados pela HPU. Como referido anteriormente estes são do tipo inverso, fazendo com que sejam atuados por falta de pressão de óleo. O atuador, nos momentos de frenagem, encosta às pastilhas do disco de freio fazendo uma força de atrito por contacto com este através de molas previamente calibradas. Este conjunto é composto por duas molas, uma principal e uma secundária, que trabalham axialmente uma dentro da outra.

A posição dos atuadores é verificada por microswitches que informam a BCU relativamente ao seu estado e posição. Os atuadores podem ser isolados manualmente através de um atuador existente na parte exterior.

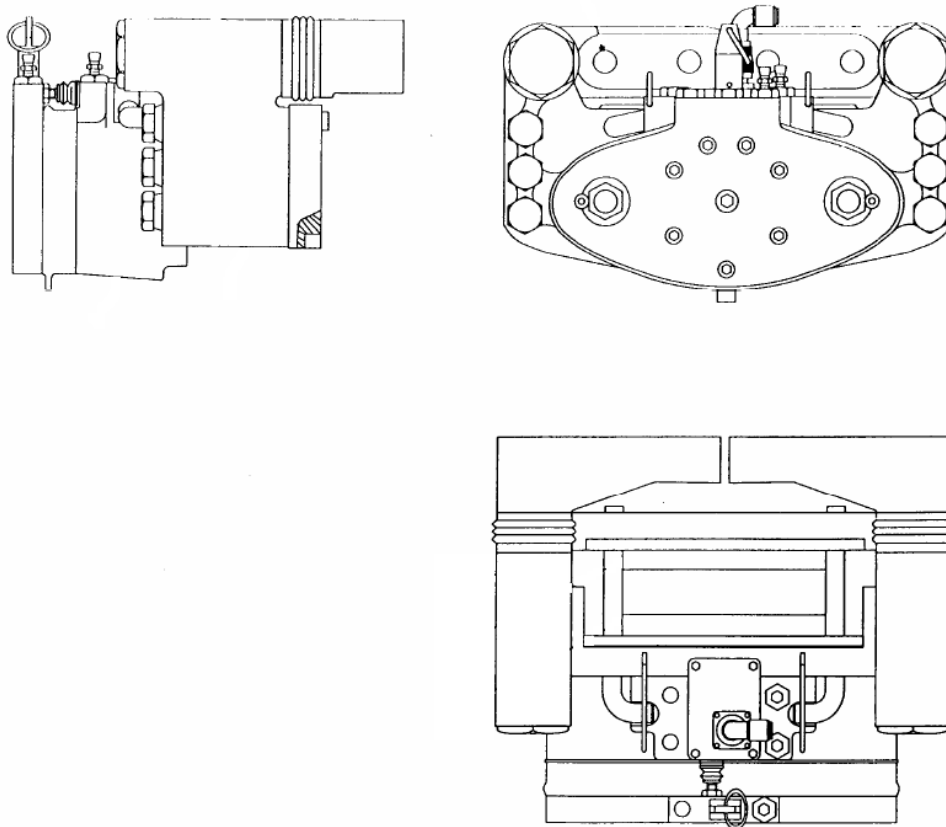


Figura 43: Cáliper do conjunto atuador

Conjunto disco de freio-pastilhas

O disco de freio encontra-se na parte exterior de cada roda e são montados no eixo da caixa redutora de cada uma delas. O disco é ventilado com um diâmetro de 320mm e 30 mm de espessura. Cada atuador contém 2 pastilhas, sendo uma delas estática e a outra é que é controlado pelo veio do calíper e molas respectivas. O ajuste do desgaste das pastilhas é automático e assegurado por um conjunto de pistão e roquete que garantem esta compensação. Este conjunto permite trabalhar a temperaturas na ordem dos 500 graus celsius.

8.3.1.1 Isolamento do conjunto atuador

É possível fazer o isolamento dos atuadores, manual ou automático, no caso de falha. O sistema automático utiliza uma electroválvula e um acumulador hidráulico de emergência. Assim a electroválvula de desbloqueio é alimentada diretamente, fazendo a comutação da válvula e levando a pressão dos acumuladores de emergência ao sistema.

Em caso de falha do isolamento automático realizada pelo maquinista através da cabine, a manobra deve ser feita pelo condutor manualmente no cáliper em falha (com a BCU ativa é possível saber qual o cáliper em falha). No caso de falha da HPU a carga de azoto presente nos acumuladores é suficiente para garantir um alívio dos freios de pelo menos 2 horas.

8.3.1.2 LCU

A LCU é constituída pela BCU (Breaking control unit) juntamente com o amplificador eletrónico VSS e por um rele elétrico.

A BCU é quem controla os freios de cada bogie individualmente e, é composta pela placa CPU, pelas comunicações MBV e por entradas e saídas analógicas e digitais.

O amplificador VSS controla e amplifica a corrente fornecida à válvula proporcional. A BCU gera um sinal elétrico através de uma corrente de entrada na gama entre os 4 e 20 mA e de saída entre 0 e 2 A. Esta corrente é diretamente proporcional à pressão hidráulica definida pela válvula.

9 Implementação do RCM

As reuniões do grupo de revisão afeto à análise RCM dos veículos EuroTram, durante estes meses foram compostos por:

Facilitador: Engenheiro L. Nogueira Cavaleiro, responsável por conduzir toda análise e garantir que toda a metodologia era seguida.

Supervisores de Manutenção: Eng. Jorge Sousa; Eng. Francisco Mendonça; Eng. Lázaro Afonso reponsáveis pela gestão da manutenção e reprojeto.

Supervisores de operação: Eng. Armando Sena e Eng. Luís Guimarães, com conhecimento da operação e respetivos procedimentos.

Técnicos da Manutenção:

- Sistema de portas: Leal Pereira, Albino Andrade
- Freios e Hidráulica: Eduardo Martins, Hélder Silva

Nas reuniões semanais foram discutidas, todas as funções conhecidas do sistema de portas e freios, com o objetivo de fazer uma análise o mais completa e correta possível. Muitas das funções vinham descritas nos manuais ou lá subentendidas enquanto outras foram mencionadas por quem melhor conhecia o sistema.

Além das funções foi necessário conhecer e identificar todos os modos de falha possíveis de cada função e os seus efeitos. Grande parte destes modos de falha vieram de experiência de uso e manutenção e operação do sistema, enquanto alguma informação é proveniente de registos históricos, os quais são de operação (detidos pela ViaPorto) e da manutenção (da responsabilidade da EMEF/CP).

Um dos défices observados durante as análises foram a falta de informação (manuais, troubleshootings, desenhos técnicos, procedimentos de manutenção) fornecidos pelo fabricante dos veículos, desde os anos mais precoces da operação, e posteriormente à saída da Bombardier do contrato de manutenção estes levaram com eles toda a informação que possuíam.

Segundo pudemos constatar, o critério e rigor das informações recolhidas ao longo destes anos de serviço da frota ET, tanto pela operação como pela manutenção é insuficiente para as exigências de uma boa manutenção e para a metodologia RCM. Existe, contudo, informação, recolhida pelas diferentes sociedades operadoras e disponibilizada pela Via Porto, que contem, quase desde início, registos das falhas ocorridas ao nível dos dois sistemas aqui em estudo, portas e freios.

Um dos problemas observado durante as reuniões de RCM, era que muitos desses dados estavam mal classificados ou caracterizados, como por exemplo, falhas ou avarias de portas, que nada tinham a ver com o sistema de porta em si, mas sim com um procedimento não cumprido pelo maquinista. Erros de recolha de informação foram, segundo posso concluir, por não existirem desde início da operação dos veículos ET, a grande razão pela deficiência de gestão e manutenção que existem. O futuro passa pela recolha sistemática e tratamento da informação relevante, nomeadamente pela indicação da falha e ordens de trabalho e, posteriormente, pelo cruzamento de dados com os relatórios de intervenção.

Esta questão acima mencionada levou a que muitas vezes fosse acionada uma avaria ou falha de um componente do sistema, normalmente o principal ou o mais simples de identificar e, na realidade, a falha devia-se a de outro componente.

Durante as reuniões concluiu-se também que, por exemplo, muitas das falhas do sistema de portas caracterizadas como falha dos botões de cabine, não eram os botões, mas sim de relés, contactores, fichas elétricas ou até cartas de comunicação avariadas, sendo, no entanto, reportadas como falhas de botões. Após a intervenção, mesmo sendo reportados pela manutenção a avaria tinha sido dada pela falha de um relé, esta informação não era corrigida na falha reportada inicialmente. Esta realidade levou ao registo de um número de avarias de certos componentes bastante superiores aqueles que na realidade ocorreram. O mesmo aconteceu para os relatórios dos sistemas de freios onde foram identificadas por diversas vezes falhas ou avarias erradas o que levaram a registos incorretos

Isso levou que muitos dos dados e historial de manutenção que a CP detém e que se encontra registada nos sw's de manutenção, pouco serviram para esta análise RCM e, por isso, esta análise foi muito baseada no conhecimento e experiência da equipa da CP, dos 17 anos de operação e manutenção destes veículos.

Grande parte do tempo despendido nesta análise foi na definição dos FMEAs dos dois sistemas de portas e freio hidráulico e nos posteriores diagramas de decisão. Estima-se que cerca de sessenta por cento do tempo despendido numa análise RCM é na plena caracterização destas duas componentes da análise. Para finalizar esta análise RCM é necessária a realização de uma auditoria às análises. Devido ao período extenso que os sistemas ferroviários exigem na aplicação do RCM não me foi possível acompanhar todo o processo e por isso não será discutido nenhum aspeto relativo à auditoria.

Os outros sistemas de freios, eletrodinâmico e magnético, também foram analisados, e separadamente, mas não são abordados nesta dissertação.

9.1 Portas

Das reuniões de RCM pode-se concluir que o sistema de portas pode ser definido por 18 funções, por 89 modos de falhas e respetivos efeitos. Alguns modos de falha e caracterização destas tanto como procedimentos de manutenção podem ser analisadas no Anexo II

Foram também calculados os RPN para cada modo de falha. Estes valores de RPN são apenas estimativas e a sua demonstração apenas serve para dar uma ideia da criticidade de cada modo de falha. Foram tomadas, para alguns valores mais críticos, tarefas com o intuito de obter valores mais aceitáveis.

Além disso foram também, para cada tarefas, decididos intervalos baseados em períodos anteriores com ligeiras correções consoante a necessidade ou a ideia de que poderiam ser melhorados. Algum histórico de falhas é seguidamente apresentado e também em anexo.

Como referido anteriormente, nesta análise foram realizadas tanto as folhas de informação como os diagramas de decisão RCM. Ambas as tabelas demonstram os resultados das análises feitas durante as reuniões.

FMEA

Sistema:

Portas ET

Data de início: 25/05/2020

			Failure Analysis				Risk Evaluation				
System		Function	Function Failure			Failure Mode	Failure Effect	O	S	D	RPN
Portas	1	Possibilitar a operação de qualquer uma das portas pelos passageiros após habilitação pelo maquinista, em ciclos de 17 segundos +2 para abertura espera e fecho com emissão de sinais sonoros e luminoso de início de fecho durante 3 segundos	1A	Não possibilitar a operação de qualquer das portas pelos passageiros após habilitação pelo maquinista	1A1	Disjuntor de alimentação da porta (3F) falha aberto	A falha do disjuntor de alimentação de 24 Vdc na posição aberta corta a alimentação à porta, imobilizando-a. Todos os sinais luminosos da porta falham e o icon da porta na cabine passa a vermelho intermitente.	2	3	3	18
					1A2	Botão de abertura de qualquer das portas pelo passageiro falha	Falha eletrônica do botão de abertura de portas impede a abertura interna e externa por parte dos passageiros apesar da informação luminosa poder estar acesa. A falha é detetada pelos passageiros e não é impeditiva de por o veículo em movimento.	3	3	1	9
					1A3	Cablagem de alimentação e controlo do botão falha por fadiga	Os ciclos de movimentação da porta originam fadiga que podem levar à interrupção de sinal e potencia imobilizando a porta. A falha é detetada pelos passageiros e não é impeditiva de por o veículo em movimento.	3	2	3	18
					1A4	Botão de habilitação 6S2 e 6S3 das portas falha	A repetição de atuações dos botões de habilitação à esquerda e à direita originam desgastes internos que levam à falha de habilitação do respetivo lado. O maquinista realiza o procedimento de evacuação, retirando-o de serviço.	3	3	2	18

				1A5	Relé de comando 6k5 e 6k6 falham fechados	Os relés à direita e esquerda de cada cabine falham devido à operação normal leva a uma degradação dos contactos impedem a desabilitação de portas e respetivo fecho. O maquinista realiza o procedimento de evacuação.	3	3	3	27
				1A6	Relé de comando 6k5 e 6k6 falham abertos	Os relés à direita e esquerda de cada cabine falham devido à operação normal leva a uma degradação dos contactos impedem a habilitação de portas e respetiva abertura. O maquinista realiza o procedimento de evacuação.	3	3	3	27
				1A7	Botão de abertura 6S1 na cabine falha	A repetição de atuações do botão de abertura pelo maquinista origina desgaste internos que levam à impossibilidade de abertura geral das portas do lado habilitado.	2	2	2	8
				1A8	Módulo de comando DX 4A3 falha	Falha eletrónica do módulo impede a interpretação de sinais de abertura de porta pelo botão do maquinista e consequente abertura de portas. Contudo as portas podem ser abertas pelos passageiros.	2	2	3	12
				1A9	Cabo de alimentação falha por fadiga	O movimento rotacional e oscilatório leva à fadiga e interrupção de alimentação. A porta pode ficar imobilizada em qualquer posição sendo necessária a intervenção do maquinista para proceder ao isolamento mecânico e elétrico da porta confirmando posteriormente no IDU.	2	2	3	12
				1A10	Motor de accionamento falha	A falha do motor elétrico impede a movimentação da porta podendo esta ficar parada em qualquer posição, sendo necessária a intervenção do maquinista para proceder ao isolamento mecânico e elétrico da porta confirmando posteriormente no IDU.	2	2	3	12

				1A11	Interruptor DCS falha	As sucessivas atuações do microswitch DCS levam à degradação quer contactos quer da alavanca ou do rolete. A falha deste sinal não indica que a porta se encontra fechada, não fechando por isso o laço de portas e inibindo tração ao veículo.	3	4	2	24
				1A12	Interruptor DLS falha	As sucessivas atuações do microswitch DLS levam à degradação quer contactos quer da alavanca ou do rolete. A falha deste sinal não indica que a porta se encontra trancada, não fechando por isso o laço de portas e inibindo tração ao veículo.	3	4	2	24
				1A13	DCU falha	Falha eletrónica corta a alimentação elétrica à porta imobilizando-a e inibindo a marcha do veículo. O maquinista tem a sinalização de falha de porta e existe sinalização de falha no Led2 da DCU.	3	3	2	18
				1A14	Carta MVB falha	Falha eletrónica inibe a comunicação com a LV do estado das portas impedindo a tração ao veículo. O maquinista tem sinalização de falha de comunicação com a porta existindo sinalização de falha na própria DCU.	2	3	2	12
				1A15	Suporte de tração da porta falha por fadiga	A peça de fixação do suporte do sistema da porta possui uma zona com uma furação onde se dá uma concentração de tensões devido aos ciclos de diversas solicitações a que esta peça sofre levando à rutura por fadiga. Esta fratura leva a imobilização da porta na posição onde se deu a falha, podendo também danificar o suporte da calha telescópica. Já sofreu redesenho.	4	2	2	16
				1A16	Correia de transmissão da porta falha por fadiga	Os ciclos de abertura e fecho da porta introduzem desgaste à correia levando assim à fissuração por fadiga. A quebra da correia levará à imobilização da porta na posição em que a falha se der obrigando o maquinista a fechar manualmente a porta e isolando eletricamente e mecanicamente a porta confirmando no IDU.	3	2	2	12

				1A17	Correia de transmissão da porta falha por perda de capacidade (dilatação)	Os ciclos de abertura e fecho da porta introduzem fadiga à correia levando assim ao aumento de perímetro desta. Esta dilatação da correia levará à falha de tração nos carretos e polias levando à imobilização da porta.	2	2	3	12
				1A18	Interruptor de isolamento elétrico da porta falha por isolamento dos bornes	A exposição do interruptor à humidade resultante da sua posição de instalação, lavagens e águas pluviais originam oxidação e posterior isolamento elétrico. A falha do interruptor causa a paragem da porta na posição que estiver, apagando o botão de abertura	2	3	4	24
				1A19	Cablagem do interruptor de isolamento elétrico da porta falha por oxidação	A exposição à humidade resultante da posição de instalação, das lavagens e água pluviais leva à oxidação das linhas e terminais causando o isolamento elétrico. A falha leva à paragem da porta na posição no momento de falha, ficando o botão de abertura apagado.	2	3	3	18
				1A20	Mola de posição do isolamento da porta falha por perda de capacidade	A falha da mola dá-se devido à perda de capacidade de elasticidade impedindo a fixação do tirante de fecho e isolamento da porta, acionando assim o interruptor isolando eletricamente e trancando mecanicamente a porta.	2	3	2	12
				1A21	Rolamentos das polias dentadas da correia falham	A falta de lubrificação de fábrica e desgaste normal de uso leva à falha destes. Os rolamentos em falha originam ruídos, vibrações até levar à imobilização da porta por prisão das polias. A falha leva à paragem da porta na posição no momento de falha, ficando o botão de abertura apagado.	2	3	3	18
				1A22	Rolamentos das polias de guiamento e tensão da correia falham por desgaste normal	A falta de lubrificação de fábrica e desgaste normal de uso leva à falha destes. Os rolamentos em falha originam ruídos, vibrações até levar à imobilização da porta por prisão das polias. A falha leva à paragem da porta na posição no momento de falha, ficando o botão de abertura apagado.	2	3	3	18

					1A23	Polias dentadas falham	Os número de ciclos elevados e amplitudes térmicas a que são proporcionam as polias, levam a um desgaste desse polímero. A falha de qualquer polia leva á libertação da correia e posterior imobilização da porta na posição de falha.	2	3	3	18
			1B	Possibilitar a operação de qualquer das portas pelos passageiros, pelo maquinista, em ciclos superiores a 19 (17+2) segundos	1B1	Elementos da calha telescópica falham por desgaste	Os ciclos de fecho e abertura levam ao desgaste natural de todos os componentes envolvidos no movimento. Esta deterioração leva a folgas e prisões que limitam a velocidade de operação da porta	3	3	2	18
					1B2	Elementos da calha telescópica falham por defeito de lubrificação	O facto das calhas telescópicas se encontrarem expostas aos elementos naturais e lixos provenientes do exterior faz com que a massa lubrificante se deteriore mais rapidamente dificultando o movimento e desgastando todos os elementos funcionais presentes na calha (aranha e esferas) podendo levar á imobilização da porta.	4	3	2	24
					1B3	Parafuso intermédio da batente da calha intermédia falha por fratura	Os ciclos de abertura e fecho causam impactos constantes no batente intermédio levando o parafuso de ligação á calha á rotura por fadiga. O batente ficando solto deixa de limitar o movimento da calha intermédia criando um desequilíbrio á folha da porta.	3	3	2	18
					1B4	Rolete inferior de guia da porta falha	Rolamento preparado e lubrificado de fábrica com proteção exterior em polímero. Os ciclos de abertura e fecho e exposição a detritos e condições atmosféricas causam degradação tanto no revestimento externo como no próprio rolamento podendo causar o entravamento da porta accionando o anti-entalamneto.	2	3	2	12
					1B5	Rolamentos de apoio da barra de coordenação vertical falham	Rolamento preparado e lubrificado de fábrica. Os ciclos de abertura e fecho e exposição a detritos e condições atmosféricas causam degradação tanto da lubrificação como no próprio rolamento podendo causar o entravamento da porta na posição em que falhar.	2	3	3	18

				186	Roletes de guiamento dos braços superiores e inferiores falham	Rolamento preparado e lubrificado de fábrica com proteção exterior em polímero. Os ciclos de abertura e fecho e exposição a detritos e condições atmosféricas causam degradação tanto no revestimento externo como no próprio rolamento podendo causar o entramento da porta accionando o anti-entramamento.	2	3	3	18
				187	Rolamentos do movimento oscilante falham por desgaste normal	Os rolamentos do movimento oscilante são solicitados em pequenos ciclos de rotação levando a um desgaste especialmente em caso de falha de lubrificação. Esta degradação dificulta o deslocamento oscilante no início de abertura e no fim do fecho.	2	3	4	24
				188	Guias transversais do movimento oscilante falham por desgaste	As guias do movimento oscilante são movimentadas entre os rolamentos daquele sistema sendo lubrificadas com massa. Os ciclos de abertura e fecho causam degradação na massa lubrificante dificultando o deslocamento oscilante no início de abertura e no fim do fecho.	2	3	3	18
				189	DCU falha	Falha eletrónica da carta DCU. Esta realiza um ciclo lento de reconhecimento do movimento da porta durante a fase de preparação do veículo, se a porta estiver entreaberta, fixando este ciclo e reproduzindo-o quando solicitada normalmente. As portas abrem e fecham em ciclos superiores a 19 segundos.	2	3	3	18
				1810	Conjunto coletor/escovas do motor falha por isolamento	O funcionamento normal do motor origina degradação superficial do coletor levando a um aumento de resistência elétrica no contacto coletor/escovas, baixando a velocidade de rotação do motor e consequentemente a velocidade de abertura e fecho da porta fazendo com que esta ultrapasse os 19 segundos.	1	3	4	12
				1811	Rolamento das bielas de bloqueio falham	O funcionamento normal dos rolamentos do sistema de bloqueio e o desgaste por falta de lubrificação origina degradação deste conjunto. Neste caso o movimento oscilante de bloqueio da porta será dificultado podendo causar o encravamento no final e início do movimento de fecho.	2	3	3	18

				1B12	Biela de bloqueio da porta falha por defeito na lubrificação	O funcionamento normal da biela de bloqueio e o desgaste por falta de lubrificação origina degradação superficial nos anéis externos dos roletes. Neste caso o movimento oscilante de bloquo da porta será dificultado podendo causar o encravamento no final do movimento de fecho.	2	3	3	18
			1C	1C1	Besouro de sinalização sonora falha	A falha eletrónica da sinalização sonora impede que os passageiros se apercebam do início de fecho da porta. Mesmo sendo audíveis os besouros das outras portas no caso de se encontrar algo no caminho da porta esta ativará o anti entalamento com três tentativas de fecho ficando aberta após estas.	2	3	1	6
				1C2	DCU falha	Falha eletrónica da carta DCU impede a emissão de sinal de besouro da respetiva porta. a. Mesmo sendo audíveis os besouros das outras portas no caso de se encontrar algo no caminho da porta esta ativará o anti entalamento com três tentativas de fecho ficando aberta após estas.	2	3	3	18
				1C3	Lampada exterior de sinalização branca falha	A falha da lampada externa impede com que os passageiros sejam informados do estado de abertuta (luz fixa) ou de movimento (luz intermitente). A substituição da lampada, em oficina, pode demorar até 15 minutos.	2	1	1	2
2		Permitir ao maquinista a habilitação das portas para abertura, tanto à direita como à esquerda com respetiva sinalização luminosa de cada botão e sinalização local do estado das portas interna e externamente bem como a desabilitação e fecho geral das portas	2A	2A1	Disjuntor de alimentação 3F70 falha aberto	A falha do disjuntor na posição aberta impede a alimentação do circuito de habilitação de portas à direita e à esquerda e também o manípulo de tração. A falta de habilitação das portas impede a abertura tanto pelo maquinista como pelos passageiros.	2	3	2	12

				2A2	Botão de habilitação de portas (6S2 e 6S3) falha	A repetição das atuações dos botões de habilitação de portas origina desgaste internos que levam à falha do botão e à impossibilidade de abertura de portas do respetivo lado. A sinalização de indicação de habilitação de portas não acende.	3	3	1	9
				2A3	Díodo direito (6V8) ou esquerdo (6V9) falha	A falha do díodo abre o respetivo circuito, inibindo a alimentação das bobinas dos relés 6K6 e 6K5, não fechando e impedindo a sinalização às DCUs para permissão de abertura das portas do respetivo lado. A sinalização de indicação de abertura de portas não acende.	2	3	3	18
				2A4	Relé de habilitação de portas direita 6K6 esquerda 6K5 falha aberto	A falha do relé aberto de habilitação de portas inibe a sinalização à DCU para permissão de abertura do respetivo lado. A sinalização de habilitação de portas não acende.	3	3	2	18
				2A5	Díodo de não retorno direito (6V11) ou esquerdo (6V10) falha	A falha do díodo inibe a sinalização à DCU para permissão de abertura do respetivo lado. A sinalização de habilitação de portas não acende.	2	3	3	18
				2A6	Disjuntor de alimentação às linhas de comboio 3F2 falha aberto	A falha do disjuntor de alimentação às linhas do comboio impede que o sinal de habilitação de portas chegue às DCUs para permissão de abertura do respetivo lado. A sinalização de habilitação acende mas as portas não estão habilitadas, não sendo possível a abertura destas nem pelo maquinista nem passageiros.	2	3	2	12
				2A7	Módulo DX4A1 falha	A falha eletrónica do módulo DX4A1 impede a auto-alimentação dos relés 6K6 e 6K5, permitindo o sinal de habilitação de portas apenas se pressionado o respetivo botão. O botão de habilitação apenas só fica iluminado enquanto pressionado, não sendo possível a abertura quer pelo maquinista quer pelos passageiros.	2	3	2	12

				2A8	Díodo 6V3 falha	Falha eletrônica onde o díodo 6V3 impede a auto-alimentação dos relés 6K6 e 6K5, permitindo o sinal de habilitação de portas apenas se se estiver pressionando o respetivo botão . O botão apenas fica iluminado quando pressionado, não sendo possível a abertura quer pelo maquinista quer pelos passageiros.	2	3	2	12
				2A9	Botão de fecho geral de portas 6S4 falha fechado	Falha eletrônica do botão de fecho geral da portas 6S4 impede a auto-alimentação dos relés 6K6 e 6K5, permitindo o sinal de habilitação de portas apenas se se estiver pressionando o respetivo botão . O botão apenas fica iluminado quando pressionado, não sendo possível o fecho quer pelo maquinista quer pelos passageiros.	2	3	2	12
		2B	Não sinalizar de forma luminosa o lado habilitado de portas para abertura com sinalização luminosa no botão respetivo e sinalização local das portas interna e externamente	2B1	Lâmpada de sinalização falha	A falha da lâmpada de sinalização impede o maquinista de saber qual o lado habilitado para a abertura de portas, embora a habilitação esteja feita.	2	2	1	4
				2B2	Módulo DX4A3 falha	Falha eletrônica do módulo DX inibe a alimentação de portas, embora a habilitação esteja feita. Existe informação redundante de portas habilitadas no IDU.	2	2	2	8
				2B3	Iluminação do botão de abertura de porta do passageiro falha	A falha eletrônica da iluminação do botão de abertura do passageiro impede a informação interna e externa do estado de habilitação aos passageiros apesar deste se encontrar funcional para abertura de portas.	3	2	1	6
		2C	Não permitir ao maquinista o desabilitar de portas e fecho geral	2C1	Botão de fecho de portas 6S4 falha	A repetição das atuações dos botões de fecho de portas origina desgaste internos que levam à falha do botão e à impossibilidade do fecho geral de portas..A sinalização de indicação de fecho de portas não acende. A falha do botão de fecho impede a desabilitação de portas e posterior arranque do veículo por falta de tração.	3	3	2	18

				2C2	Díodo 6V9 falha	A falha do díodo 6V9 interrompe o sinal de fecho de portas para as DCUs, ficando a informação de portas habilitadas no IDU. O maquinista pode abrir e fechar portas, ficando acesos os botões de habilitação e de abertura de portas na cabine. De facto as portas fecham e desabilitam embora fique a informação no sistema que as portas não desabilitaram, impedindo o pedido de tração.	2	3	3	18
				2C3	Relé de habilitação de portas direita 6K6 esquerda 6K5 falha fechado	A falha do relé de habilitação fechado (colagem do contacto) impede a desabilitação do respectivo lado, inibindo a tração ao veículo e mantendo acesa a sinalização do botão.	2	3	2	12
3	Ser capaz de detetar objetos com espessura igual ou superior a 60*30 mm e cantos arredondados de pelo menos 5 mm colocados na zona de fecho da porta e que se oponham com uma força superior a 250N e parar o movimento em 0,5 segundos após deteção deste	3A	Não ser capaz de detetar objetos com espessura igual ou superior a 60*30 mm e cantos arredondados de pelo menos 5 mm colocados na zona de fecho da porta e que se oponham com uma força superior a 250N	3A1	Interruptor de fim de curso DCS da porta falha aberto	Interruptor normalmente fechado que em caso de falha aberto retira o sinal de que a porta por já se encontrar na fase final de fecho inibe o sistema de anti-entalamento. Neste caso a deteção de obstáculos não será feita e a porta avança com toda a carga até receber o sinal seguinte do DLS que é posteriormente enviado à DCU e então é cortada a alimentação ao motor.	3	3	2	18
				3A2	Cablagem de sinal de informação à DCU falha por interrupção	A interrupção do sinal DCS à DCU pelo cabo, terminais ou fichas de ligação à DCU causam a saída do sinal de posicionamento da porta na fase de fecho onde já não deve haver anti-entalamento. Neste caso o ciclo de fecho prossegue até ser acionado o microswitch DLS para sinalização à DCU e corte de alimentação ao motor.	3	3	2	18
				3A3	Came de acionamento do DCS falha por desregulação	Falha maioritariamente introduzida por intervenções de manutenção imperfeitas. A desregulação da came causa a retirada prematura do sinal DCS à DCU indicando que já não deve haver anti-entalamento. Neste caso a deteção de obstáculos não será feita e a porta avança com toda a carga até receber o sinal seguinte do DLS que é posteriormente enviado à DCU e então é cortada a alimentação ao motor.	1	3	3	9

				3A4	DCU falha (entrada P3)	A falha eletrônica da DCU causa um erro de interpretação do sinal do DCS retirando assim o anti-entramento. Nesta caso a porta irá fechar até receber o sinal do DLS e a DCU cortar a alimentação do motor. Em caso de entalamento será possível para o veículo, sem auxílio do maquinista, se este se encontrar a menos 80 metros da última paragem.	2	3	3	18	
			3B	Não parar o movimento após 0.5 segundos após a deteção	3B1	DCU falha entrada P9	Falha eletrônica da DCU que impede a interpretação da corrente de alimentação ao motor elétrico de acionamento da porta. Em caso de obstrução da porta esta não irá parar devido ao pico de corrente tirando o fecho de portas e inibindo a tração do veículo pelo laço de portas. A porta pode ser aberta pelo botão de passageiro se habilitada pelo maquinista.	2	3	3	18
4	Garantir que a força de remoção da zona de entalamento é inferior ou igual a 150	4A	Não garantir que a força de remoção da zona de entalamento é inferior ou igual a 150 N	4A1	Borrachas de vedação da porta falham por envelhecimento	A exposição das borrachas ao elementos naturais, ciclos térmicos e Uvs causam a degradação e envelhecimento do estado destas e progressivo endurecimento do polímero. As borrachas endurecidas não permitem a deformação à compressão que permita a retirada de objetos ou pessoas entaladas com uma força inferior a 150N. Em caso de entalamento se não observado pelo maquinista ou acionado o manípulo de emergencia o corpo entalado pode ser arrastado no arranque do veículo.	3	3	2	18	
				4A2	Porta falha por má afinação	Falha com maior probabilidade de ocorrência na sequência de intervenções de manutenção. A deficiente afinação da porta pode causar maiores pressões nas juntas de fecho exigindo, em caso de entalamento, forças superiores a 150 N para a retirada dos objectos na junta de fecho. Em caso de entalamento, se não for detectado pelo maquinista através do equipamento de retrovisão ou por accionamento do sinal de alarme pelo passageiro, o veículo pode iniciar o movimento arrastando a pessoa ou o objecto.	2	3	1	6	
5	Permitir a solicitação de qualquer uma das portas B2 e F3, por pessoa de mobilidade reduzida	5A	Não permitir a solicitação de qualquer uma das portas B2 e F3, por pessoa de mobilidade reduzida	5A1	Botão pedido de abertura de porta PMR falha	A falha de abertura por parte do botão PMR impede que o maquinista receba a informação de necessidade de abertura prolongada das portas B2 e F3 e consequentemente não fará a confirmação no IDU e a porta não é aberta com habilitação e paragem do veículo. A porta abrirá normalmente mas dificultando a saída por não se encontrar ativo o temporizador da porta.	2	2	2	8	

				5A2	Botão de pedido de abertura de porta PMR desligado	Em caso de substituição do painel de suporte do botão a ficha de ligação pode não ser ligada ou solar-se com o movimento. A falha de abertura por parte do botão PMR impede que o maquinista receba a informação de necessidade de abertura prolongada das portas B2 e F3 e consequentemente não fará a confirmação no IDU e a porta não é aberta com habilitação e paragem do veículo. A porta abrirá normalmente mas dificultando a saída por não se encontrar ativo o temporizador da porta.	2	2	3	12
6	Permitir a abertura manual de qualquer porta pelo interior	6A	Não permitir a abertura manual de qualquer porta pelo interior	6A1	Cabo de desencravamento da porta falha por fadiga	A falha do cabo ocorre devido à fadiga dos ciclos de movimento a que é sujeita. A falha do cabo impede a abertura manual através do manípulo de emergência (rodando 180º) com o veículo desenergizado mas também em situação de emergência solicitada pelo passageiro e autorizada pelo maquinista. .	2	2	1	4
7	Permitir a abertura manual de qualquer porta de serviço B2 e F3 pelo exterior em caso de falha da abertura normal de serviço	7A	Não Permitir a abertura manual de qualquer porta de serviço B2 e F3 pelo exterior em caso de falha da abertura normal de serviço	7A1	Cabo de entrada de acesso da porta de serviço falha por fadiga	A falha do cabo ocorre devido à fadiga dos ciclos de movimento a que é sujeita. A falha do cabo impede a abertura manual através do manípulo exterior com o veículo desabilitado e em caso de falha de abertura elétrica da porta de serviço.	1	2	1	2
8	Permitir a abertura de qualquer porta de serviço B2 e F3 pelo exterior e interior	8A	Não Permitir a abertura de qualquer porta de serviço B2 e F3 pelo interior.	8A1	Botão de saída do veículo falha (cabine)	A repetição de atuações do botão de abertura da porta de serviço pelo maquinista origina desgastes internos que podem levar à falha do botão e impossibilidade de abertura da porta de serviço adjacente. Pode ser necessário a utilização do manípulo de emergência.	2	2	1	4
				8A2	Disjuntor 3F40 de alimentação falha aberto	A falha do disjuntor na posição aberta corta a alimentação de 24V Dc ao circuito de porta de serviço impedindo a respetiva abertura e não acendendo a sinalização do botão. Pode ser utilizada a abertura através do manípulo de emergência.	2	2	2	8

				8A3	Relé 6K11 falha aberto	A falha do relé na posição aberta corta a alimentação de 24V Dc ao circuito de porta de serviço impedindo a respetiva abertura e não acendendo a sinalização do botão.	2	2	3	12
				8A4	Díodo 6V23 falha	A falha do díodo corta a alimentação de 24V Dc ao circuito de porta de serviço impedindo a respetiva abertura e não acendendo a sinalização do botão.	2	2	3	12
		8B	Não Permitir a abertura de qualquer porta de serviço B2 e F3 pelo exterior.	8B1	Botão de entrada do veículo falha (cabine)	A repetição de atuações do botão de abertura externa da porta de serviço pelo maquinista origina desgastes internos que podem levar à falha do botão e impossibilidade de abertura da porta de serviço adjacente.	2	2	2	8
9	Permitir a habilitação de portas para acesso a serviços não técnicos	9A	Não Permitir a habilitação de portas para acesso a serviços não técnicos	9A1	Interruptor com acionamento por chave falha	A falha interna do interruptor impede a emissão do sinal para a lógica do veículo para a habilitação das portas, levantamento de pantógrafo e ligação de luzes de salão.	2	1	2	4
10	Permitir o isolamento mecânico e elétrico de qualquer porta pelo interior e exterior	10A	Não permitir o isolamento mecânico e elétrico de qualquer porta pelo interior e exterior	10A1	Suporte do interruptor de fim de curso falha por desalinhamento	Falha com maior probabilidade de ocorrência na sequência de intervenções de manutenção. O desalinhamento do suporte relativamente ao curso do linguete da fechadura quadrada pode impedir a entrada do linguete na ranhura e não permitir o isolamento mecânico da porta impedindo igualmente a atuação do microswitch de isolamento elétrico.	2	3	2	12
11	Permitir a colocação de qualquer porta em manutenção, por pessoal habilitado	11A	Não Permitir a colocação de qualquer porta em manutenção, por pessoal habilitado	11A1	Interruptor de isolamento para manutenção falha fechado	Interruptor normalmente fechado que falha a abertura por colagem do contacto, impedindo o isolamento da porta para manutenção, retardando qualquer intervenção que seja necessária. O botão de abertura não apaga e a porta não fica solta.	2	2	3	12

12	Permitir em caso de emergência, a comunicação com o maquinista e atuar a frenagem máxima de serviço se o veículo se encontrar a menos de 80 metros da última paragem e sinalizar com luz vermelha no exterior da porta atuada.	12A	Não Permitir em caso de emergência, a comunicação com o maquinista e sinalizar, no exterior, com luz vermelha	12A1	Qualquer manípulo de emergência falha	A falha elétrica interna dos contactos A3 e B3 falha impedindo a comunicação com o motorista após acionamento do manípulo de emergência. Neste caso apenas a comunicação falha sendo efetuada a frenagem máxima de serviço se este se encontrar menos de 80 metros da última paragem.	2	3	2	12
				12A2	Ligações da cablagem audio ao barramento falham	As ligações das cablagens audio ao barramento são feitas através de fichas. A vibração do veículo conjugada com a posição de ligação ao barramento causa a interrupção da ligação e,consequentemente, da comunicação do passageiro com o maquinista.	2	3	2	12
				12A3	Qualquer intercomunicador falha	A falha elétrica interna, impedindo a comunicação com o motorista após acionamento do manípulo de emergência. Neste caso apenas a comunicação falha sendo efetuada a frenagem máxima de serviço se este se encontrar menos de 80 metros da última paragem.	2	3	1	6
				12A4	Lâmpada do sinalizador vermelho externo falha	A falha da lâmpada impede sinalização da porta em emergencia e a informação externa do estado de comunicação aberta com o maquinista.	2	2	1	4
		12B	Não Permitir em caso de emergência atuar a frenagem máxima de serviço se o veículo se encontrar a menos de 80 m da última paragem	12B1	Qualquer manípulo de emergência falha	A falha elétrica interna dos contactos A5 e B5 falha impedindo a abertura do laço de segurança após acionamento do manípulo de emergência. Neste caso apenas a comunicação pode ser efetuada e a frenagem fica ao cargo do maquinista. A ausencia de frenagem máxima de serviço pode causar danos a pessoas ou objetos.	2	4	1	8

13	Garantir que não existe espaço entre o cais de embarque e a soleira do veículo	13A	Não garantir que não existe espaço entre o cais de embarque e a soleira do veículo	13A1	Soleira falha por impacto	A soleira de guiamento da porta e suporte de entrada e saída de passageiros falha por impacto com agente externo. A soleira é instalada com parafusos fusíveis de forma em qualquer impacto esta sair sem prejudicar tanto o veículo como o agente externo.				0
14	Manter a estanqueidade do veículo pelas portas	14A	Não Manter a estanqueidade do veículo pelas portas	14A1	Qualquer das borrachas das portas falha por envelhecimento	A exposição das borrachas aos elementos naturais e aos ciclos de fadiga causa o envelhecimento do polímero causando o endurecimento e fissuras que fragilizam os vedantes e originam posteriormente roturas que anulam a estanqueidade das vedações.	2	3	2	12
15	Ser capaz de impedir o estilhaçamento do vidro para o interior em caso de impacto externo e proteger a superfície interna do vidro de ações de vandalismo e permitir a plena visão para o interior e exterior através das portas.	15A	Não Ser capaz de impedir o estilhaçamento do vidro para o interior em caso de impacto externo e proteger a superfície interna do vidro de ações de vandalismo	15A1	Película interna falha por actos de vandalismo	O vandalismo nas películas internas da porta, normalmente por cortes, fragilizam a resistência desta e pioram a visão para o exterior. Esta perda de resistência pode fragilizar a capacidade de esta conter o estilhaçamento do vidro para o interior podendo causar ferimentos aos passageiros.	2	4	1	8
				16A2	Película interna falha por descolagem	A colagem deficiente ou a perda de propriedades da cola nas películas internas da porta podem originar descontinuidades desta, fragilizam a resistência desta e pioram a visão para o exterior. Esta perda de resistência pode fragilizar a capacidade de esta conter o estilhaçamento do vidro para o interior podendo causar ferimentos aos passageiros.	2	4	2	16
				16A3	Ausência de película interna	Falha com maior probabilidade de ocorrência devido a intervenções de manutenção onde é substituída a porta e não é realizada a instalação da película pela empresa externa. Esta falta de película faz com que não seja possível proteger o próprio vidro de vandalismo ou de conter o estilhaçamento do vidro para o interior podendo causar ferimentos aos passageiros.	3	4	1	12
		15B	Não permitir a plena visão para o interior e exterior através das portas.	15B1	Superfície externa dos vidros suja	A exposição do vidro às condições climáticas e lixos normais do ar mas também a vandalismo impedem a visão para o interior ou exterior. A reposição de estado é realizada por limpeza ou lavagem ou se necessário substituição do vidro.	3	2	1	6

				1582	Superfície externa dos vidros danificada	A exposição do vidro às condições climáticas e lixos normais do ar mas também a vandalismos podem danificar e impedir a visão para o interior ou exterior. A reposição de estado é realizada por limpeza ou lavagem ou se necessário substituição do vidro.	2	3	1	6
16	Permitir em caso de avaria o isolamento do laço de portas em caso de falha deste	16A	Não Permitir em caso de avaria o isolamento do laço de portas em caso de falha deste	16A1	Botão de isolamento do laço de portas 3S5 falha	A repetição das actuações do botão de isolamento do laço de portas, origina desgastes internos que levam à falha do botão. Em caso de falha do laço de portas o veículo é retirado de serviço, havendo informação no IDU de "intervenção de laço de portas".	2	3	1	6
				16A2	Cablagem do circuito de isolamento do laço de portas falha	A vibração a que está sujeita a cablagem e as ligações podem levar à interrupção do circuito e impedir o isolamento do laço de portas.	2	3	2	12
17	Ser capaz de cortar a alimentação de 24V dc de qualquer porta em caso da corrente ser superior a 6A	17A	Não Ser capaz de cortar a alimentação de 24V dc de qualquer porta em caso da corrente ser superior a 6A	17A1	Disjuntor de alimentação da porta 3F falha fechado	A vibração a que está sujeita a cablagem e as ligações podem levar à interrupção do circuito e impedir o isolamento do laço de portas.	2	3	2	12
18	Não permitir o movimento do veículo sem que todas as portas se encontrem fechadas	18A	Permitir o movimento do veículo sem que todas as portas se encontrem fechadas	18A1	Não foram encontrados modos de falha prováveis					0

Decision Worksheet

Sistema: **Portas ET**

Data de Início: 25/05/2020

RCM Reference			Consequence Evaluation				H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	Default Task			Recommended action	Initial Frequency	Can be done by:
F	FF	FM	H	S	E	O				H4	H5	S4			
1	A	1	Yes	No	No	No	No	No	No				No scheduled maintenance		
1	A	2	Yes	No	No	No	No	No	No				No scheduled maintenance		
1	A	3	Yes	No	No	No	No	No	No				No scheduled maintenance		
1	A	4	Yes	No	No	Yes	No	No	Yes				Do the scheduled discard task- substituição do botão de habilitação	960 000 km	Electromecânico
1	A	5	Yes	No	No	Yes	No	No	No				Do the scheduled discard task- substituição dos relés	960 000 km	Electromecânico
1	A	6	Yes	No	No	Yes	No	No	No				Do the scheduled discard task- substituição dos relés	960 000 km	Electromecânico
1	A	7	Yes	No	No	No	No	No	No				No scheduled maintenance		
1	A	8	Yes	No	No	No	No	No	No				No scheduled maintenance		
1	A	9	Yes	No	No	No	No	No	No				No scheduled maintenance		
1	A	10	Yes	No	No	No	No	No	No				No scheduled maintenance		
1	A	11	Yes	No	No	No	No	No	Yes				Do the scheduled discard task- substituição do microswitch		Electromecânico
1	A	12	Yes	No	No	No	No	No	Yes				Do the scheduled discard task- substituição do microswitch		Electromecânico
1	A	13	Yes	No	No	No	No	No	No				No scheduled maintenance		
1	A	14	Yes	No	No	Yes	No	No	No				No scheduled maintenance		
1	A	15	Yes	No	No	Yes	Yes						Do on condition task	2 weeks	Electromecânico

1	A	16	Yes	No	No	Yes	Yes						Do on condition task	240 000 km	Electromecânico
1	A	17	Yes	No	No	Yes	Yes						Do on condition task	240 000 km	Electromecânico
1	A	18	Yes	No	No	No	No	No	No				No scheduled maintenance		
1	A	19	Yes	No	No	No	No	No	No				No scheduled maintenance- redesenhar o percurso do cabo		Engenharia
1	A	20	Yes	No	No	No	No	No	No				No scheduled maintenance		
1	A	21	Yes	No	No	No	No	No	No				No scheduled maintenance		
1	A	22	Yes	No	No	No	No	No	No				No scheduled maintenance		
1	A	23	Yes	No	No	No	No	No	No				Do on condition task- verificar estado dos dentes das polias	240 000 km	Electromecânico
1	B	1	Yes	No	No	Yes	Yes	No	No				Do on condition task- verificar ruídos e o estado da aranha e esferas guias	120 000 km	Electromecânico
1	B	2	Yes	No	No	Yes	No	Yes					Do the schedule restoration task- lubrificação das guias	72 000 km	Electromecânico
1	B	3	Yes	No	No	Yes	No	No	No				No scheduled maintenance (redesign)		Engenharia
1	B	4	Yes	No	No	No	Yes						Do on condition task- verificação do estado da condição do rolete	72 000 km	Electromecânico
1	B	5	Yes	No	No	No	Yes						Do on condition task- verificar ruídos e vibrações dos rolamentos	72 000 km	Electromecânico
1	B	6	Yes	No	No	No	Yes						Do on condition task- verificação do estado da condição do rolete	72 000 km	Electromecânico
1	B	7	Yes	No	No	No	No	No	No				No scheduled maintenance		
1	B	8	Yes	No	No	Yes	Yes						Do the scheduled restoration task- verificar estado das guias	120 000 km	Electromecânico
1	B	9	Yes	No	No	No	No	No	No				No scheduled maintenance		
1	B	10	Yes	No	No	No	No	No	No				No scheduled maintenance		
1	B	11	Yes	No	No	No	No	No	No				No scheduled maintenance		
1	B	12	Yes	No	No	No	No	Yes					Do the scheduled discard task- limpeza da massa antiga e reposição da nova (SKF ÇG EP 2) a píncl	120 000 km	Electromecânico

1	C	1	Yes	Yes	No	No	No	No	No				No scheduled maintenance		
1	C	2	Yes	No	No	No	No	No	No				No scheduled maintenance		
1	C	3	Yes	No	No	No	No	No	No				No scheduled maintenance		
2	A	1	Yes	No	No	No	No	No	No				No scheduled maintenance		
2	A	2	Yes	No	No	No	No	No	No				No scheduled maintenance		
2	A	3	Yes	No	No	Yes	No	No	No				No scheduled maintenance		
2	A	4	Yes	No	No	Yes	No	No	No				No scheduled maintenance		
2	A	5	Yes	No	No	Yes	No	No	No				No scheduled maintenance		
2	A	6	Yes	No	No	Yes	No	No	No				No scheduled maintenance		
2	A	7	Yes	No	No	Yes	No	No	No				No scheduled maintenance		
2	A	8	Yes	No	No	Yes	No	No	No				No scheduled maintenance		
2	A	9	Yes	No	No	Yes	No	No	No				No scheduled maintenance		
2	B	1	Yes	No	No	No	No	No	No				No scheduled maintenance		
2	B	2	Yes	No	No	No	No	No	No				No scheduled maintenance		
2	B	3	Yes	No	No	No	No	No	No				No scheduled maintenance		
2	C	1	Yes	No	No	Yes	No	No	No				No scheduled maintenance		
2	C	2	Yes	No	No	Yes	No	No	No				No scheduled maintenance		
2	C	3	Yes	Yes	No	No	No	No	No				No scheduled maintenance (redesign)- redundância		Engenharia
3	A	1	No				No	No	No	Yes			Do failure-finding task	6 months	Electromecânico
3	A	2	No				No	No	No	Yes			Do failure-finding task	6 months	Electromecânico

3	A	3	No				No	No	No				Do on condition task/Redesign is compulsory- formação de afinação		Engenharia
3	A	4	No				No	No	No	Yes			Do failure-finding task		Electromecânico
3	B	1	No				No	No	No	Yes			Do failure-finding task		Electromecânico
4	A	1	Yes	No	No	No	Yes						Do on condition task- verificar dureza das borrachas		Electromecânico
4	A	2	Yes	Yes	No	No	No	No	No			No	Redesign is compulsory- formação de afinação		Engenharia
5	A	1	Yes	Yes	No	No	Yes	No	No				Do on condition task- testar o botão		Electromecânico
5	A	2	Yes	Yes	No	No	No	No	No			No	Redesign is compulsory- formação de afinação e ligação		Engenharia
6	A	1	No	No	No	No	No	No	No	Yes			Do failure-finding task - acionar o manípulo de emergencia	36 000 km	Electromecânico
7	A	1	No	No	No	No	No	No	No	Yes			Do failure-finding task - acionar o manípulo de serviço	36 000 km	Electromecânico
8	A	1	Yes	No	No	No	No	No	No				No scheduled maintenance		
8	A	2	Yes	No	No	No	No	No	No				No scheduled maintenance		
8	A	3	Yes	No	No	No	No	No	No				No scheduled maintenance		
8	A	4	Yes	No	No	No	No	No	No				No scheduled maintenance		
8	B	1	Yes	No	No	No	No	No	No				No scheduled maintenance		
9	A	1	Yes	No	No	No	No	No	No				No scheduled maintenance		
10	A	1	Yes	No	No	Yes	No	No	No				Redesign is compulsory- formação de afinação		Engenharia
11	A	1	Yes	No	No	No	No	No	No				No scheduled maintenance		
12	A	1	No				No	No	No	Yes	No	No	Do failure-finding task	36 000 km	Electromecânico
12	A	2	No				No	No	No	No	Yes		Redesign is compulsory- reprojeto de ligações		Engenharia
12	A	3	No				No	No	No	Yes			Do failure-finding task	36 000 km	Electromecânico

12	A	4	No				No	No	No	Yes			Do failure-finding task	36 000 km	Electromecânico
12	B	1	No				No	No	No	Yes			Do failure-finding task	36 000 km	Electromecânico
13	A	1	Yes	No	No	Yes	No	No	No				No scheduled maintenance		
14	A	1	Yes	No	No	Yes	Yes						Do on condition task- verificar estanqueidade	120 000 km	Electromecânico
15	A	1	Yes	Yes	No	No	Yes						Do on condition task	2 days	Electromecânico
15	A	2	Yes	Yes	No	No	Yes						Do on condition task	2 days	Electromecânico
15	A	3	Yes	Yes	No	No	Yes						Do on condition task	2 days	Electromecânico
15	B	1	Yes	No	No	No	No	No	No				Do on condition task	2 days	Electromecânico
15	B	2	Yes	Yes	No	Yes	Yes						Do on condition task	2 days	Electromecânico
16	A	1	No	No	No	No	No	No	No	No	No		No scheduled maintenance		
16	A	2	No	No	No	No	No	No	No	No	No		No scheduled maintenance		
17	A	1	No	No	No	Yes	No	No	No				No scheduled maintenance		
18	A	1											Not analyzed		

De toda a análise realizada aos mais diversos modos de falha de cada função foram identificados 89 modos de falha como os representados na imagem 44 consoante a sua consequência e quais as tarefas alocadas na imagem 45.

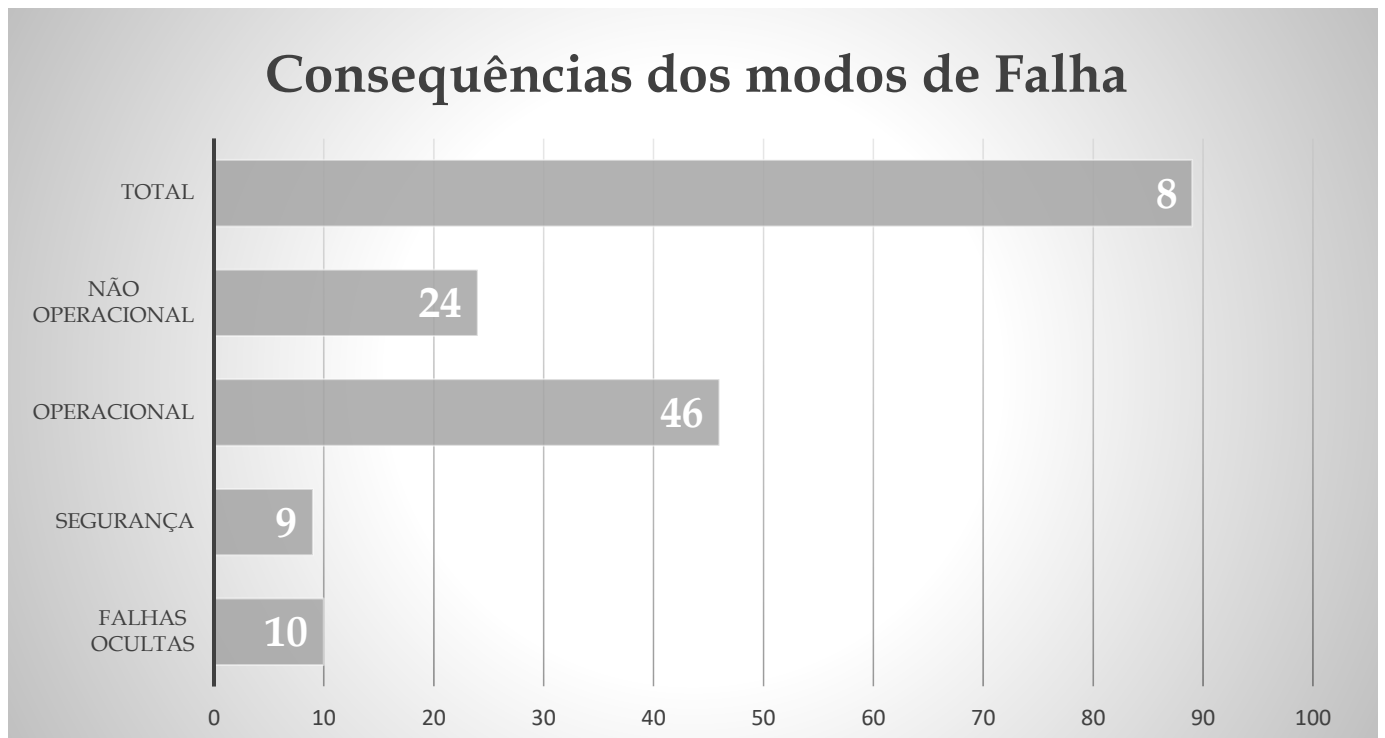


Figura 44: Enumeração das consequências dos modos de falha do sistema porta

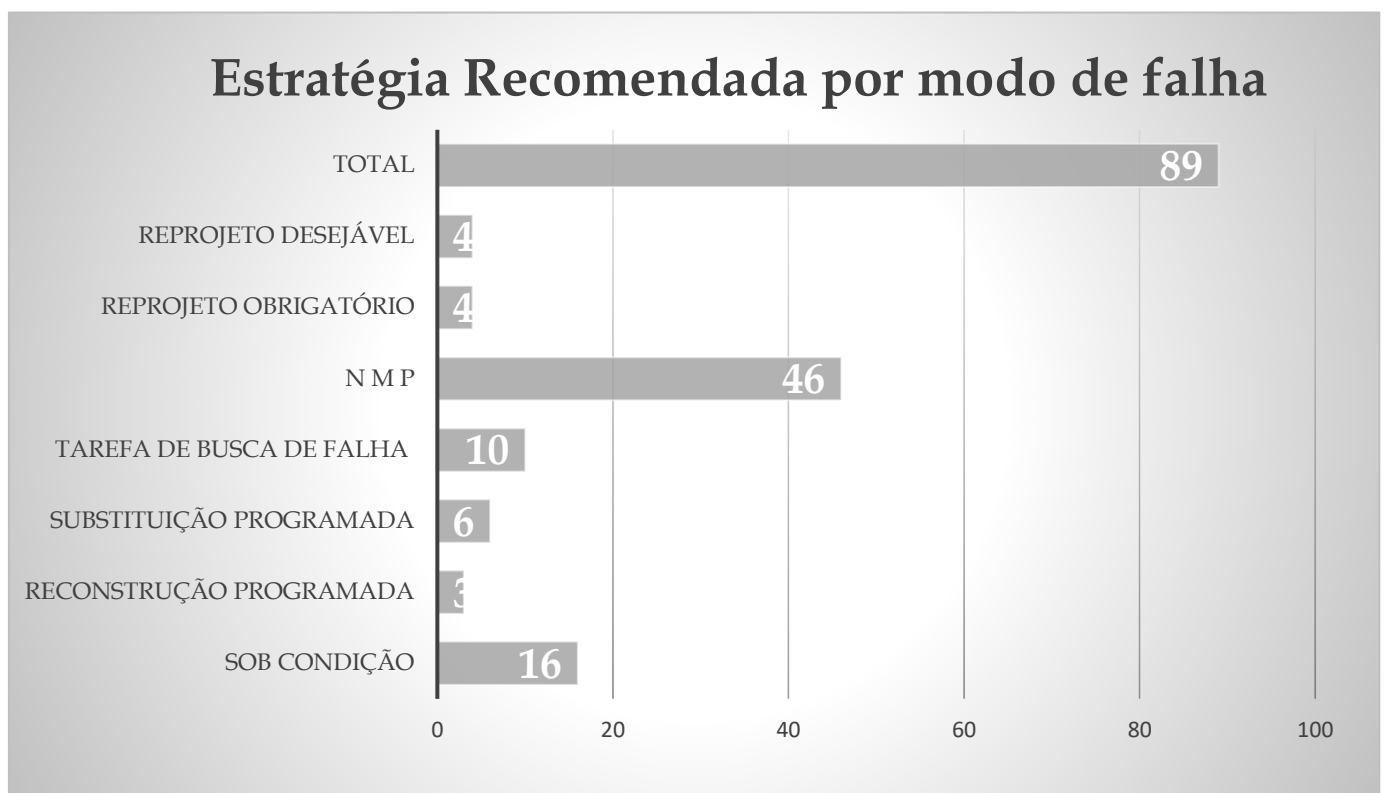


Figura 45: Enumeração de cada tipo tarefa do sistema porta

Das quais foram identificadas algumas que sobressaem pela sua criticidade. Após avaliação do RPN dos diversos modos de falha é necessário intervencionar sobre os seus elevados valores. Toda esta metodologia tem também esse objetivo de reduzir alguns riscos e criticidades dos modos de falha tidos como problemáticos. Muitos apesar de não serem tão críticos para o sistema podem ter demasiadas ocorrências ou serem de difícil deteção e por isso terem algum impacto operacional.

Modo de Falha	RPN inicial $O \cdot S \cdot D$	Tarefa	RPN Futuro
1 A 4	$3 \cdot 3 \cdot 2 = 18$	Substituição programada	$1 \cdot 3 \cdot 2 = 6$
1 A 5	$3 \cdot 3 \cdot 3 = 27$	Substituição programada	$1 \cdot 3 \cdot 3 = 9$
1 A 6	$3 \cdot 3 \cdot 3 = 27$	Substituição programada	$1 \cdot 3 \cdot 3 = 9$
1 A 15	$4 \cdot 2 \cdot 2 = 16$	Reprojeto da peça	$2 \cdot 2 \cdot 2 = 8$
1 A 18	$2 \cdot 3 \cdot 4 = 24$	Tarefa sob condição	$2 \cdot 3 \cdot 2 = 12$
1 B 2	$4 \cdot 3 \cdot 2 = 24$	Restauração programada	$2 \cdot 3 \cdot 2 = 12$
1 B 3	$3 \cdot 3 \cdot 2 = 18$	Reprojeto do batente	$1 \cdot 3 \cdot 2 = 6$
3 A 1	$3 \cdot 4 \cdot 2 = 24$	Tarefa sob condição	$1 \cdot 4 \cdot 2 = 8$
3 A 2	$3 \cdot 4 \cdot 2 = 24$	Tarefa sob condição	$2 \cdot 4 \cdot 2 = 16$
4 A 1	$3 \cdot 4 \cdot 2 = 24$	Tarefa sob condição	$2 \cdot 4 \cdot 2 = 16$
10 A 1	$2 \cdot 3 \cdot 2 = 12$	Reprojeto- formação de afinação	$1 \cdot 3 \cdot 2 = 6$

Tabela 8: Avaliação e análise de alguns modos de falha com RPN mais críticos no sistema de portas

Estes valores são puramente teóricos. Representam apenas objetivos aos quais pode ser possível chegar com um novo plano de manutenção e apenas podem ser analisados algum tempo após a implementação das respetivas tarefas. Todos os valores apresentados como objetivo podem ser atingidos á custa das tarefas mencionadas.

9.2 Freios

As mesmas análises foram feitas para o sistema de freio hidráulico. Como mencionado anteriormente este será o único a ser abordado pois além de ser o mais completo em termos de descrição nos manuais é aquele na qual tive a oportunidade de passar mais tempo em oficina e por ser dos mais críticos. É também dos sistemas de maior complexidade da frota o que não permite, academicamente, análises tão profundas. No futuro era de grande interesse incorporar os outros sistemas de freio nesta análise, não só por serem de grande relevo, mas também por terem muitas funções e respetivos modos de falha de elevado impacto operacional.

As reuniões de análise aos freios foram realizadas em semanas intercaladas com as das portas.

Nas páginas seguintes será apresentado tantas a folha de informações como o diagrama de decisão do RCM.

FMEA

Sistema:

Freio ET

Data de Inicio: 05/06/2020

				Failure Analysis				Risk Evaluation			
System		Function		Function Failure		Failure Mode	Failure Effect	O	S	D	RPN
HD	1	Permitir regular de forma progressiva a aplicação da força de frenagem entre 0 e 32KN +/- 1KN por roda em função da carga e da velocidade	1A	Não permitir regular de forma progressiva a aplicação da força de frenagem entre 0 e 32KN +/- 1KN por roda em função da carga e da velocidade	1A1	Pinos da ficha X4 de alimentação externa da HPU falham por isolamento	As vibrações da operação mais a elevada frequência com se abre e fecha a ficha induz desgaste nos pinos. Isto aliado aos 24V DC 40A originam folgas mecânicas e arcos elétricos que deterioram o sistema. Esta falha obriga ao isolamento do bogie.	3	3	2	18
					1A2	Perda de fluido Hidráulico por rotura	A perda de fluido hidráulico impede a capacidade de se atingir a pressão num tempo inferior a 45 segundos. Sendo parada pelo temporizador.	2	4	1	8
					1A3	Conjunto motor/bomba falha	Falha de qualquer um destes componentes impede o estabelecimento da pressão desejada na HPU. Falha sinalizada no IDU.	2	3	2	12
					1A4	Escovas do motor da bomba falham	O funcionamento normal do motor causa o desgaste normal e progressivo das escovas. A falta de contacto irá incapacitar o motor de atingir o nível de pressão desejado sendo, dado o alarme de freios no IDU.	2	2	3	12
					1A5	Coletor do motor da bomba falha por desgaste	O funcionamento normal do motor causa o desgaste normal e progressivo do coletor. A falta de contacto irá incapacitar o motor de atingir o nível de pressão desejado, sendo dado o alarme de freios no IDU.	2	2	3	12
					1A6	Válvula Anti retorno falha	A falha da válvula que impede que o fluido e pressão se mantenha na HPU após paragem do pressostato. A falha é sinalizada no IDU	2	2	2	8

				1A7	Válvula de despressurização AV falha aberta	A falha da válvula normalmente fechada destinada à despressurização manual da HPU. A falha é mais comum de se dar em ambiente oficial por incorreto manobramento duma ferramenta que danifique o atuador da válvula.	1	2	1	2
				1A8	Pressostato falha por perda de alimentação	Perda de ambos os limites de controlo de funcionamento da bomba (120+-5; 150+-5 bar). A falha deteta-se pelo temporizador dos 45 segundos de atuação da motor.	1	3	2	6
				1A9	Pressostato falha por descalibração do limite inferior 120 +- 5 bar	A perda do limite inferior condiciona a pressão de arranque da bomba podendo, se o valor for inferior a 110+3 bar (pressão do azoto nos acumuladores) produzir atuações intermitentes e espontaneas podendo criar lisos nas rodas.	2	3	3	18
				1A10	Bobine da válvula reguladora Y1 falha	A falha é dada normalmente fechada. A Y1 atua em função da intensidade de corrente dada pelo manípulo do maquinista proporcionando assim força de frenagem. A sua atuação perde capacidade de contacto impedindo assim a libertação de freios.	1	3	3	9
				1A11	Válvula reguladora Y1 falha por desgaste	Válvula é normalmente fechada que atua em função da intensidade de corrente dada pelo manípulo do maquinista proporcionando assim força de frenagem. O desgaste criado pelo elevado número de ciclos aliado à pressão de passagem do óleo este poderá criar uma zona de instabilidade de fluxo causando variações de pressão.	2	3	3	18
				1A12	Carta VSS falha	Falha eletrónica da carta amplificadora VSS provoca a frenagem total do veículo. O alarme não é dado no IDU mas o maquinista sente a frenagem.	2	3	2	12
				1A13	Alimentação elétrica da válvula Y3 falha	A válvula Y3 direciona o fluxo de óleo da bomba para o carter quando em repouso, ou para as pinças quando energizada. Em caso de falha não garante o envio de óleo às pinças impedindo a abertura das pinças até à pressão residual 41+-7 bar condicionada pela Y5, podendo criar lisos.	2	3	3	18
				1A14	Transdutor de pressão falha	A falha do transdutor de pressão impede a correta aplicação de carga nesse bogie influenciando o cálculo de frenagem a realizar nesse bogie. Podendo levar a distancias de paragem superiores.	2	3	4	24

				1A15	Válvula de peso médio falha	A falha interna da válvula de peso médio causada pela deterioração dos anéis poliméricos produz informações erradas das pressões instaladas nas câmaras de ar da suspensão secundária para o transdutor de pressão deturpando o valor real de carga nesse bogie e uma vez mais afetando a aplicação da carga correta.	1	2	2	4
				1A16	Qualquer dos sensores de velocidade falha	A falha de leitura de velocidade de uma das rodas irá provocar uma descontinuidade e por isso será dado um alarme no IDU de falha de freios.	2	2	3	12
				1A17	Roda fônica falha por desalinhamento	A roda fônica presente em cada caixa redutora faz a leitura de velocidade. O seu desalinhamento irá enviar sinais errados e consequentemente irá ativar a falha de freios.	1	2	3	6
				1A18	Qualquer dos tubos hidráulicos falha por rotura	A exposição dos tubos aos movimentos e vibrações origina fadiga e desgaste dos tubos levando a uma perda de óleo para o exterior e causando uma frenagem total nesse bogie.	2	4	1	8
				1A19	Vedante do pistão falha por desgaste	A falha por desgaste do vedante origina passagens de óleo para o exterior retirando capacidade e pressão à HPU. Se a capacidade for demasiado baixa a bomba para garantir pressão irá tentar trabalhar mais de 45 segundos dando erro de freios.	2	3	1	6
				1A20	Molas primárias dos calipers falham por fadiga	A falha da mola dá-se devido à perda de capacidade ao seu desgaste normal diminuindo a força de frenagem.	1	2	3	6
				1A21	Pistão principal falha por fadiga	A fadiga causada pelo elevado número de ciclos aliados à elevada carga a que são submetidos irão causar fissuras e posterior fratura. A separação do pistão da haste irá fazer com que os freios fiquem assíncronos dando falha de freios.	1	3	3	9

					1A22	Entrada de água pelo dreno dos foles de proteção da pinça	O posicionamento do drenos dos foles para escoamento de pequenas perdas de óleo nos vedantes permite a entrada de água de lavagens e águas pluviais acumuladas nas vias. Além disto a sucção feita pelo movimento de abertura e fecho do fole ajuda na sua penetração oxidando o cilindro e restantes órgãos e destruindo as massas de lubrificação.	3	4	4	48
					1A23	Microswitch de preparação do freio falha (MCU)	A falha do microswitch de preparação impede a correta informação de pinça preparada à BCU do veículo. A falha é sinalizada como falha de freios no IDU.	2	3	2	12
					1A24	Microswitch de posicionamento do freio falha	A falha do microswitch de posicionamento impede a correta informação da posição da pinça à BCU por vezes de forma intermitente. A falha apenas é validada e sinalizada no IDU após 5 falhas.	2	3	2	12
					1A25	Regulador dos microswitches falha por desalinhamento	O regulador dos microswitch é montado e movimentado pela tampa frontal do caliper. As folgas acumulados e desgaste das molas, das guias e do próprio housing causam o desalinhamento do regulador relativamente aos switches podendo fraturar este e deturpar as informações cedidas à BCU.	3	3	3	27
2		Ser capaz de limitar a pressão máxima no sistema a 160 +10 bar	2A	Não ser capaz de limitar a pressão máxima no sistema a 160 +10 bar	2A1	Válvula de segurança falha	A falha da válvula na posição fechada apenas terá impacto se tiver ocorrido a falha do pressostato de comando da bomba(150 +-5bar) e do temporizador de funcionamento da bomba (45s). Nesta circunstancia o excesso de pressão pode causar danos internos na HPU.	2	3	2	12
3		Permitir despressurizar manualmente o sistema hidráulico de qualquer bogie	3A	Não permitir despressurizar manualmente o sistema hidráulico de qualquer bogie	3A1	Válvula de despressurização manual AV falha	Válvula normalmente fechada com acionamento manual pelo exterior da HPU. A falha na posição fechada impede a despressurização em cenários de emergência ou de manutenção.	1	2	2	4
4		Garantir que a bomba hidráulica não funciona por mais de 45 segundos ou não faz mais de 25% de 10 minutos	4A	Permitir que a bomba hidráulica funcione por mais de 45 segundos ou mais de 25% de 10 minutos	4A1	Falha carta DI	Falha eletrónica da carta DI impede a passagem do sinal de contagem do tempo de trabalho da bomba para a CPU. Aparece no IDU falha de freios (E101 no CPU)	2	2	3	12

				4A2	Falha do CPU	CPU falha impedindo a contagem do tempo de 45 segundos	2	2	2	8
5	Permitir a libertação manual de qualquer dos atuadores de um bogie	5A	Não permitir a libertação manual de qualquer dos atuadores de um bogie	5A1	Rolamento da manga de bloqueio falha por oxidação	Rolamento de desencravamento do sistema de roquete oxidada por entrada de águas provenientes de lavagens ou pluviais. No momento de libertação permanece imóvel.	2	1	2	4
				5A2	Cavilha de desbloqueio manual falha por fratura desgaste ou perda da parte exterior	A Cavilha que bloqueia por interferência o sistema de roquete, por se encontrar no exterior, sofre pela sujidade e impactos com componentes estranhos podendo na necessidade de atuação encontrar-se em falha por desaparecimento ou folgas.	1	2	1	2
6	Garantir em caso de isolamento automático, o alívio de pressão pelos calipers de pelo menos 2 horas	6A	Não garantir em caso de isolamento automático, o alívio de pressão pelos calipers de pelo menos 2 horas	6A1	Válvula de isolamento de freios Y4 falha	A falha da válvula Y4 (normalmente fechada) impede a realização do isolamento automático obrigando o maquinista a realizar o procedimento de libertação manual.	3	3	2	18
				6A2	Pressão nos acumuladores insuficiente	A falta de pressão no acumuladores, por perda através do vedante da câmara ou por perdas no circuito de emergência, impede com que seja possível automaticamente isolar os atuadores	1	3	4	12
7	Ser capaz de manter a pressão hidráulica no sistema no intervalo de 41 +/-7 bars em caso de atuação da frenagem de emergência	7A	Manter a pressão hidráulica a baixo dos 34 bar em caso de atuação da frenagem de emergência	7A1	Falha mecânica da válvula y5	Falha da válvula Y5 ao longo do tempo por degradação dos órgãos internos pode levar a uma travagem mais brusca e levando ao aparecimento de lisos.	2	3	3	18
		7B	Manter a pressão hidráulica acima dos 48 bar em caso de atuação da frenagem de emergência	7B1	Falha mecânica ou má regulação da válvula Y5	Falha da válvula Y5 pode levar a perda de capacidade de frenagem e aumento das distâncias de paragem.	1	3	3	9
8	Permitir a visualização local do nível de mínimo e máximo de fluido no sistema	8A	Não permitir a visualização local do nível de mínimo e máximo de fluido no sistema	8A1	Visualização falha por acumulação de sujidade no visor	A falha dá-se devido ao facto da HPU andar no exterior do veículo e relativamente perto do solo tendo a tendência de acumular muita sujidade.	1	2	1	2

9	Permitir a avaliação das pressões hidráulicas à saída da bomba no circuito dos acumuladores de emergência e no circuito de serviço	9A	Não permitir a avaliação das pressões hidráulicas à saída da bomba no circuito dos acumuladores de emergência e no circuito de serviço	9A1	Válvulas T de engate rápido falham	A falha das válvulas T de serviço e teste falham devido ao uso constante de inserção e recolha dos engates o que leva à perda capacidade de engate	1	2	1	2
10	Ser capaz de manter a pressão de azoto sistema dos acumuladores de 110+-3 bars quando a pressão hidráulica é de 0 bar	10A	Não manter qualquer pressão nos acumuladores	10A1	Perda de pressão pelas válvulas	A falta de pressão nos diversos acumuladores por perda de pressão através do desgaste e envelhecimento da válvula polimérica de enchimento impede com que seja possível, à bomba, repor a pressão necessária nos 45 segundos.	1	2	3	6
		10B	Manter a pressão nos acumuladores abaixo dos 107 bar	10B1	Falha na reposição de pressão	Falha devido ao défice de pressão de azoto repostas nos acumuladores.	2	2	2	8
		10C	Manter a pressão nos acumuladores acima dos 113 bar	10C1	Falha na reposição de pressão	Falha da reposição por excesso de pressão do azoto pode levar à coincidência de leitura do pressostato (115 bar) levando a queda de pressão a 0 e posterior atuação do motor-bomba. Este delay pode criar lisos.	2	4	3	24
11	Garantir a filtragem do óleo hidráulico de partículas superiores a 10 microns	11A	Não garantir a filtragem do óleo hidráulico de partículas superiores a 10 microns à saída da bomba	11A1	Filtro de óleo falha por desgaste	Filtro de metal sinterizado que exposto às elevadas pressões e partículas no óleo provoca um desgaste deste, podendo causar danos internos.	2	3	4	24
				11A2	Filtro de óleo falha por colmatção	Filtro de metal sinterizado que exposto às elevadas pressões e partículas no óleo causa a progressiva colmatção da malha obstruindo a circulação deste ou levando à destruição do filtro e consequentes danos no circuito.	2	2	4	16
		11B	Não garantir a filtragem do óleo hidráulico de partículas superiores a 10 microns no retorno ao carter	11B1	Filtro de óleo falha por colmatção	Filtro de metal sinterizado que exposto às elevadas pressões e partículas no óleo causa a progressiva colmatção da malha obstruindo a circulação deste ou levando à destruição do filtro e consequentes danos no circuito.	2	2	4	16
12	Ajustar de forma automática o desgaste das pastilhas e discos	12A	Não ser capaz de ajustar de forma automática o desgaste das pastilhas e discos	12A1	Conjunto de roquete de ajustamento falha	O desgaste mecânico do sistema de roquete pode levar a rotura do sistema bloqueando o movimento de ajuste.	2	3	2	12

13	Ser capaz de imobilizar o veículo em parque com uma inclinação máxima de 8% para condições normais de aderência roda/carril (0,15)	13A	Não ser capaz de imobilizar o veículo em parque com uma inclinação máxima de 8% para condições normais de aderência roda/carril (0,15)	13A1	Molas primárias dos calipers falham por fadiga	O funcionamento normal das molas induz desgaste e fadiga do material e este ao longo do tempo vai perdendo capacidade e consequentemente eficácia de frenagem.	1	3	2	6
				13A2	Molas secundárias dos calipers falham por fadiga	O funcionamento normal das molas induz desgaste e fadiga do material e este ao longo do tempo vai perdendo capacidade e consequentemente eficácia de frenagem.	2	2	3	12
				13A3	Discos falham por desgaste normal	Os ciclos progressivos de frenagem desgastam o material do disco até um certo limite. Abaixo deste limite há perda de capacidade de frenagem	2	3	2	12
				13A4	Calços falham por desgaste normal	Os ciclos progressivos de frenagem desgastam o material das pastilhas até um certo limite onde deixa de haver material aderente e o contacto passa a ser ferro com ferro.. Abaixo deste limite há perda de capacidade de frenagem.	2	3	2	12
14	Permitir o isolamento automático da frenagem electro-hidráulica em caso de falha.	14A	Não Permitir o isolamento automático da frenagem electro - hidráulica em caso de falha.	14A1	Touch do IDU na zona de isolamento falha	A falha da tateabilidade do IDU falha impedindo o maquinista de isolar automaticamente os freios em caso de falha destes.	2	2	1	4
				14A2	Carta DI falha	A falha eletrónica da carta DI não sinaliza o pedido de isolamento automático mantendo o sistema de freio a frenar.	2	2	3	12
15	Garantir continuidade e sincronismo de frenagem entre veículos acoplados	15A	Não garantir continuidade e sincronismo de frenagem entre veículos acoplados	15A1	Pinos de acoplamento elétrico do engate falham	A excessiva utilização dos sistemas de engate leva a um desgaste excessivo dos pinos e fichas elétricas impedindo a correta comunicação e sinalização entre veículos.	2	3	2	12

Decision Worksheet

Sistema: Freio HD

Data de Início: 5/06/2020

RCM Reference			Consequence Evaluation				H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	Default Task			Recommended action	Initial Frequency	Can be done by:
F	FF	FM	H	S	E	O				H4	H5	S4			
1	A	1	Yes	No	No	Yes	Yes						Do on condition task	7500 Km	Eletromecânico
1	A	2	Yes	No	No	Yes	Yes						Do on condition task	7500 Km	Eletromecânico
1	A	3	Yes	No	No	Yes	No	No	No				No scheduled maintenance	60 000 Km - 0	
1	A	4	Yes	No	No	Yes	Yes						Do on condition task	30 000 Km	Eletromecânico
1	A	5	Yes	No	No	Yes	Yes						Do on condition task	30 000 Km	Eletromecânico
1	A	6	Yes	No	No	Yes	No	No	No				No scheduled maintenance		
1	A	7	Yes	No	No	No	Yes						Do on condition task		
1	A	8	Yes	No	No	Yes	No	No	No				No scheduled maintenance		
1	A	9	Yes	No	No	Yes	No	No	No				No scheduled maintenance		
1	A	10	Yes	No	No	Yes	No	No	No				No scheduled maintenance		
1	A	11	Yes	No	No	Yes	No	No	No				No scheduled maintenance		
1	A	12	Yes	No	No	Yes	No	No	No				No scheduled maintenance		
1	A	13	Yes	No	No	Yes	No	No	No				No scheduled maintenance		
1	A	14	Yes	No	No	Yes	No	No	No				No scheduled maintenance		
1	A	15	Yes	No	No	No	No	No	No				No scheduled maintenance		

1	A	16	Yes	No	No	No	No	No	No				No scheduled maintenance		
1	A	17	Yes	No	No	No	No	No	No				No scheduled maintenance Redesign is compulsory		
1	A	18	Yes	No	No	Yes	No	No	Yes				Do the schedule restoration task		
1	A	19	Yes	No	No	Yes	No	No	No				No scheduled maintenance		
1	A	20	Yes	No	No	Yes	No	No	No				No scheduled maintenance		
1	A	21	Yes	No	No	Yes	Yes	No	No				Do on condition task		
1	A	22	Yes	No	No	Yes	No	No	No				No scheduled maintenance: Redesign is compulsory		
1	A	23	Yes	No	No	Yes	Yes						Do on condition task		
1	A	24	Yes	No	No	Yes	Yes						Do on condition task		
1	A	25	Yes	No	No	Yes	Yes						Do on condition task		
2	A	1	No	No	No	Yes	No	No	No	Yes			Do the failure-finding task		
3	A	1	No	No	No	Yes	No	No	No	Yes			Do the failure-finding task		
4	A	1	Yes	No	No	Yes	No	No	No				No scheduled maintenance		
4	A	2	Yes	No	No	Yes	No	No	No				No scheduled maintenance		
5	A	1	Yes	No	No	Yes	Yes						Do on condition task		
5	A	2	Yes	No	No	Yes	No	No	No				No scheduled maintenance		
6	A	1	Yes	No	No	No	Yes						Do on condition task	15 000 Km	Eletromecânico
6	A	2	No	No	No	No	Yes						Do on condition task	60 000 Km	Eletromecânico
7	A	1	Yes	No	No	Yes	No	No	No				No scheduled maintenance		
7	B	1	Yes	No	No	Yes	No	No	No				No scheduled maintenance		

8	A	1	Yes	No	No	No	Yes	No	No				Do on condition task		
9	A	1	Yes	No	No	No	No	No	No				No scheduled maintenance: Redesign is compulsory- Já resolvido		
10	A	1	Yes	No	No	Yes	No	No	No				No scheduled maintenance		
10	B	1	Yes	No	No	Yes	No	No	No				No scheduled maintenance: Redesign is compulsory- Formação de pressurização		
10	C	1	Yes	No	No	Yes	No	No	No				No scheduled maintenance: Redesign is compulsory- Formação de pressurização		
11	A	1	Yes	No	No	No	No	No	No				Do the descarte programado	480 000 km (R)	Eletromecânico
11	A	2	Yes	No	No	No	No	No	No				Do the descarte programado	480 000 km (R)	Eletromecânico
11	B	1	Yes	No	No	No	No						Do the descarte programado	480 000 km (R)	Eletromecânico
12	A	1	Yes	No	No	No	No						No scheduled maintenance		
13	A	1	Yes	No	No	Yes	Yes						No scheduled maintenance		
13	A	2	Yes	No	No	Yes	Yes						No scheduled maintenance		
13	A	3	Yes	No	No	Yes	Yes						Do on condition task - verificar estado dos discos	7500 Km	Eletromecânico
13	A	4	Yes	No	No	Yes	Yes						Do on condition task - verificar estado das pastilhas	7500 Km	Eletromecânico
14	A	1	Yes	No	No	Yes	No	No	No				No scheduled maintenance	7500 Km - 0	Eletromecânico
14	B	2	Yes	No	No	Yes	No	No	No				No scheduled maintenance		
15	A	1	Yes	No	No	Yes	Yes						Do on condition task - verificar estado da ficha dos engates	15000 Km	Eletromecânico

Mesmo não sendo uma análise completa a todos os modos de falha, esta já permite ganhar conhecimentos tanto da metodologia como do sistema em si. Parte das funções acima descritas são de grande importância e relevo para o sistema. Foram identificados 51 modos de falha de onde cerca de 71% tem impacto operacional e nenhum como seria de esperar de um sistema de segurança ferroviário tem qualquer impacto na segurança.

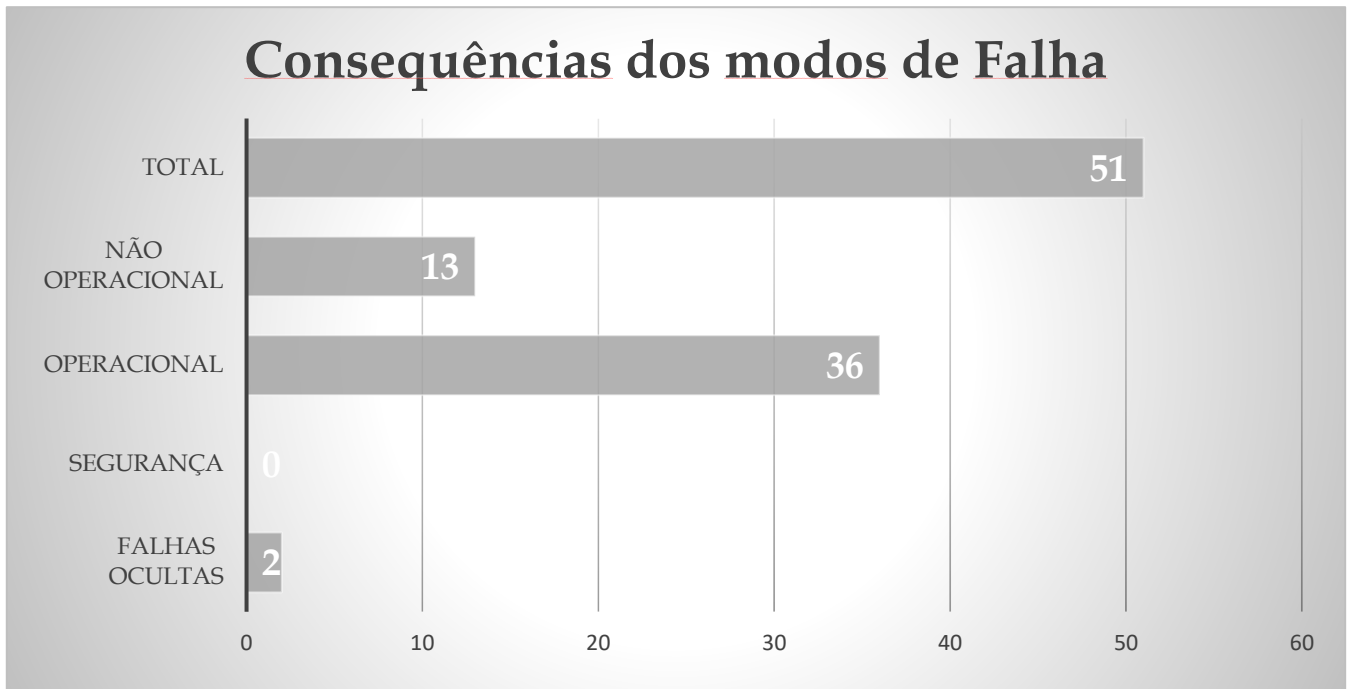


Figura 47: Enumeração das consequências dos modos de falha do sistema de freio HD

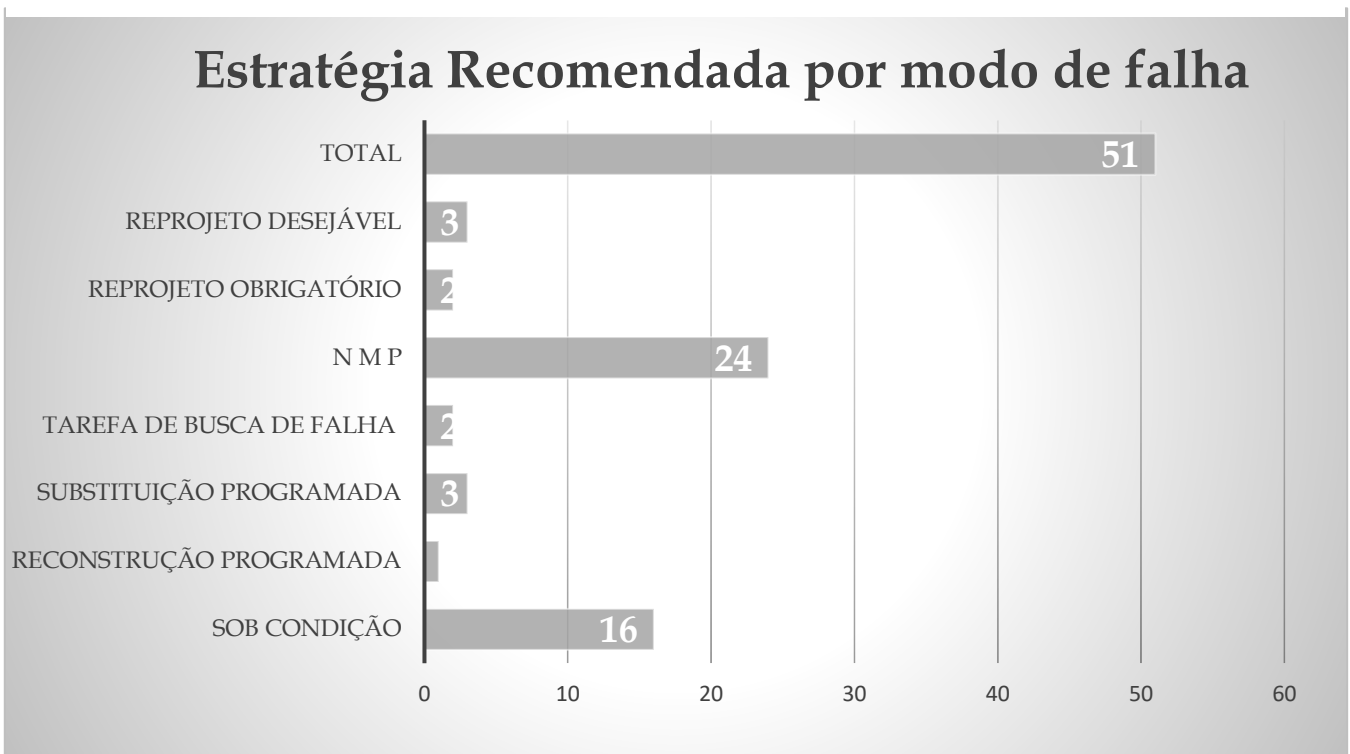


Figura 46: Enumeração das tarefas do sistema de freio HD

A avaliação do valor de RPN permite então perceber se existem alguns modos de falha que obriguem a uma intervenção mais focada em controlar estes valores. De todos os modos de falha e dentro do que a metodologia indica, os seguintes foram os que mais conceberam dúvidas e ou necessidade de grandes alterações.

Modo de Falha	RPN inicial $O \cdot S \cdot D$	Tarefa	RPN Futuro
1 A 1	$3 \cdot 3 \cdot 2 = 18$	Sob condição	$1 \cdot 3 \cdot 2 = 6$
1 A 14	$2 \cdot 3 \cdot 4 = 24$	Sob condição e talvez reprojeto	$1 \cdot 3 \cdot 3 = 3$
1 A 22	$3 \cdot 3 \cdot 4 = 36$	Sob condição e reprojeto	$1 \cdot 3 \cdot 2 = 6$
10 C 1	$2 \cdot 4 \cdot 3 = 24$	Reprojeto- formação de afinação	$1 \cdot 4 \cdot 2 = 8$

Tabela 9: Análise de modos de falhas com RPN mais críticos do sistema de freio

Para o modo de falha 1A1, o indicado pela metodologia RCM é uma tarefa sob condição. Para o caso de não serem atingidos os valores RPN estimados pode ser necessário a realização de um reprojeto.

Para o modo 1A14 deve ser realizada uma tarefa sob condição aliada ao reprojeto da instalação de um sistema de monitorização em tempo real das pressões de forma a poder ser mais detetável.

O modo 1A22 obriga tanto a uma tarefa sob condição como ao reprojetos das vedações dos foles para entrada de águas pluviais ou de lavagens.

10 Conclusões e trabalhos futuros

A gestão de manutenção de ativos como os da indústria ferroviária são de importantíssima relevância. É essencial a preservação, tanto dos ativos como da qualidade do serviço prestado, pois a indústria dos transportes é das mais impactantes no atual modo de vida. Todo o nosso quotidiano é baseado na esperança que nada falhe e que tudo esteja a horas e, por isso, qualquer quebra de fiabilidade tem imenso impacto. A fiabilidade e consequente disponibilidade é, sem sombra para dúvidas, dos grandes indicadores a trabalhar e otimizar de forma a que não só o próprio serviço seja de qualidade como para garantir que tudo o que se apoie neste não sai prejudicado.

A metodologia RCM veio ajudar a garantir que tudo era feito em prole dos objetivos da empresa relativamente à fiabilidade. Esta permitiu conhecer o mais ínfimo pormenor, dos sistemas estudados, de forma a que fosse possível tomar decisões acertadas baseado nesse conhecimento. A criação das FMEAs dos sistemas, sustentadas na informação recolhida tanto de manuais como da experiência e conhecimento de quem trabalha com estes, permitiu um grande avanço no que diz respeito às decisões e alterações relativas à manutenção.

Relativamente ao sistema mais simples, de portas, foi possível caracterizar todas as funções, modos de falha e efeitos sobrando poucas dúvidas. O sistema de freios, além de mais complexo, também por interagir com outros sistemas, aumenta em muito a complexidade de análise e de definição de todos os modos de falha como também das decisões a tomar. A análise foi breve, e sucinta, mas de forma a permitir aprender a metodologia e o sistema em si. O seu estudo e análise irá ter continuação pela equipa de RCM, mas por não se encontrar concluída, não poderá ser apresentada uma análise completa nesta dissertação baseada na auditoria realizada futuramente.

No decorrer de toda a análise, contatou-se uma das grandes limitações da gestão da manutenção, a insuficiência de dados. Para se tomar a decisão mais acertada é necessário possuir a melhor informação possível e para isto é necessário a correta recolha de dados. Sendo o RCM uma metodologia dinâmica na qual se deve estar sempre a trabalhar é um objetivo a melhoria de recolha de informação de modo a perceber se toda esta análise foi bem decidida e implementada. Foi detetado também um excesso de manutenção programada preventiva intrusiva o que também é demonstrado pelo número de tarefas de nenhuma manutenção programada a realizar em ambos os sistemas. Grande parte das restantes, como seria de esperar, são preditivas.

Em suma, a manutenção é das áreas de maior relevo e importância em muitas empresas e o conhecimento e tomadas de decisões corretas é fundamental. É também, infelizmente, uma área frequentemente bastante criticada por ser muitas vezes vista como uma despesa e deixada para segundo plano. Também tem um reduzido interesse a nível de investigação académica, o que faz com que não seja incutido desde início na engenharia estes conceitos e raciocínios.

“RCM é um programa mental e não computacional”

Em trabalhos futuros é de grande interesse a continuidade da aplicação do método RCM tanto aos sistemas estudados de portas e freio, onde deve ser feita a avaliação e análise de resultados e posterior correções se necessárias de modo a otimizá-lo, como a sistemas de grande interesse e relevo para a manutenção, como por exemplo, conversores auxiliares ou de tração. Sendo o RCM uma metodologia dinâmica e sempre em desenvolvimento, esta deve passar por incorporar métodos de análise de dados mais capazes, como alguns dos métodos de análise estatísticos apresentados no Anexo VI, para ser possível tomar decisões sobre informação mais fiável. Sugiro também que seja feita, após a incorporação de mais dados na análise, a comparação entre as decisões tomadas no RCM e os planos de manutenção previamente instalados e a comparação entre o RCM mais débil em informação e a sua evolução baseada em informação seleta.

Dever ser também feita uma Análise de árvore de falhas, FTA, explicada e caracterizada no Anexo V, de modo a priorizar a análise de falhas e conhecer melhor as suas causas primordiais e fazer a verificação e estudo da sua criticidade.

Relativamente aos dados e sua recolha, muito do progresso da manutenção que esta empresa possa ter, irá passar tanto pela telemanutenção como pela recolha de dados e gestão de informação e de rotáveis. Sistemas complexos como os ferroviários podem exigir monitorização e controlo constante. Um dos desafios da monitorização passa por saber o que monitorizar e em que períodos de forma a evitar excessos de informação ou informação desnecessária. Encontra-se neste momento a ser desenvolvido um software de monitorização de diversos estados de componentes e sistemas do veículo ET.

Outra melhoria futura passa pela criação de uma equipa para controlo de stocks, controlo de implementação de decisões e reprojeto. Relativamente a reprojeto existem dois que, apesar da minha breve estadia, merecem destaque sendo eles a criação de um coberto no parque dos veículos e o outro o desenho de uma peça de proteção para as guias das portas.

11 Referências

- [1] Moubray, John. (2000). *Reliability-centred Maintenance*, 2nd edition, Aladon
- [2] Cp, Comboios de Portugal. Retirado de: <https://www.cp.pt/institucional/pt/cultura-ferroviaria/historia-cp>. Último acesso em 20 de Junho de 2020.
- [3] NP EN 13306:2007. *Terminologia de manutenção: NP EN 13306:2007. Comité Europeu de Normalização*.
- [4] Cabral, José Paulo Saraiva. (2013). *Gestão de Manutenção de Equipamentos, Instalações e Edifícios*, 3^a edição, Lisboa, LIDEL
- [5] Basson, Marius, and Aladon. (2019). *RCM3: Risk-Based Reliability-Centered Maintenance*, Industrial Press, Inc
- [6] Sahal, R., et al. (2020). *Big data and stream processing platforms for Industry 4.0 requirements mapping for a predictive maintenance use case*. Journal of Manufacturing Systems
- [7] Rausand M., Hoyland A., (2004). *System Reliability Theory* (2nd ed.). Wiley-Interscience, Manhattan.
- [8] Moss T. R., (2005). *The Reliability Data Handbook*. Professional Engineering, Michigan.
- [9] STD. SAE JA1011 (1999), *Evaluation Criteria for Reliability-Centered Maintenance (RCM) Processes*.
- [10] STD. SAE JA1012 (2002), *A Guide to the Reliability-Centered Maintenance (RCM) Standard*.
- [11] Wiseman, Murray. *The real meaning of the six RCM curves*. Asset Management & Maintenance Journal, Vol. 27, No. 5, Sep 2014: 18-23.
- [12] Amaral, Fernando Dias. (2016). *Gestão da Manutenção na Indústria*. Lisboa, Lidel
- [13] Sondalini, Mike. *A common Misunderstanding about Reliability-Centered Maintenance*.
- [14] Barbosa, F. Maciel (2018). *Introdução à Fiabilidade de Sistemas Elétricos de Energia*. Retirado de: <https://paginas.fe.up.pt/~fmb/>. Último acesso em 15 de junho de 2020.
- [15] EN 50126:1999. *Railway Applications – The specification and Demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS)*.
- [16] ISO CEI/IEC 60812:2006. *Analysis techniques for system reliability –Procedure for failure mode and effects analysis (FMEA)*.

- [17] Dinmohammadi, Fateme & Alkali, Babakalli & Shafiee, Mahmood & Bérenguer, Christophe & Labib, Ashraf. (2016). *Risk Evaluation of Railway Rolling Stock Failures Using FMECA Technique: A Case Study of Passenger Door System*. Urban Rail Transit.
- [18] Dhillon, B. S. (Balbir S.). (2006). *Maintainability, Maintenance, and Reliability for Engineers*. CRC Press Taylor & Francis Group, NW
- [19] Rausand M., Hoyland A., (2004). *System Reliability Theory* (2nd ed.). Wiley-Interscience, Manhattan.
- [20] Ferreira, Luís Andrade & Sobral, José & Farinha, José Torres. (2014). *LCC - Life Cycle Cost, its relevance to Physical Asset Management*. EuroMaintenance 2014.
- [21] CLC/TR 50126-3:2008 E: *Railway applications –The specification and demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS) – Part 3: Guide to the application of EN 50126-1 for rolling stock RAM*.
- [22] Patra, Ambika Prasad. (2007). *RAMS and LCC in Rail Track Maintenance*. Luleå University of Technology Division of Operation and Maintenance Engineering.
- [23] Pernilla, Gluch & Henrikke, Baumann. (2004). *The life cycle costing (LCC) approach: a conceptual discussion of its usefulness for environmental decision-making, Building and Environment*, Volume 39, Issue 5
- [24] BS EN 15341:2007. *Maintenance. Maintenance key performance indicators*.
- [25] Rausand M. & Hoyland A., (2004). *System Reliability Theory* (2nd ed.). Wiley-Interscience, Manhattan.
- [26] Nowlan, F. Stanley & Heap, Howard F. (1978). *Reliability-Centered Maintenance*. United Airlines San Francisco, California
- [27] Falck, A. *GUIDELINE EXECUTION OF FMEA/FMECA*. (2010). DNV. RiskNet
- [28] Understand RCM2 vs. RCM3. Retirado de:
<https://www.thealadonnetwork.com/about-aladon/methodologies/reliability-centered-maintenance-rcm/rcm3/>. Último acesso em 16 de junho de 2020.

Anexo I – Especificações técnicas das portas

Edição:4
3EVA 010 - EGAM

MANUAL DE INSTRUÇÕES TÉCNICAS
METRO DO PORTO

BOMBARDIER

PARTE C - Especificações Técnicas das Portas

1 Características gerais

1.1 Peso

Folha da porta	69 kg
Mecanismo	78 kg
Barra de coordenação	6,5kg
UCP	3,7 kg
Manípulo de emergência	4,5 kg
Manípulo exterior de serviço	4 kg
Vedações da caixa	3,2 kg
Soleira com calha de guiamento	24 kg
Trinco mecânico na caixa	0,5 kg
Conjunto da porta	193,4 kg
Botão para deficientes	0,1 kg

1.2 Amplitude

Largura	1350 mm (10/-0 mm medido a 1000 mm acima do chão)
Altura	1970 mm (medida do chão ao topo do canto superior)

1.3 Alimentação eléctrica

Corrente contínua	24 V (17 até 32)
Consumo:	
Abertura ou fecho	≤ 415 J
Pico no arranque	≤ 340 W
Motor bloqueado	≤ 176 W
Consumo permanente do UCP	≤ 15 W

1.4 Tempos de abertura e características

Tempos de abertura e fecho	< 6 s à tensão nominal
Deteção de pequenos obstáculos	30 (largura) x 60 (altura) mm
Força exercida no obstáculo	250 N
Força manual para abrir	150 N
Energia cinética	16 J
Curso transversal da porta:	
Distância do topo da porta aberta	80 mm
Distância do fundo da porta aberta	90 mm

1.5 Resistência mecânica

Sem deformação permanente abaixo de	2000 N/m aplicado perpendicularmente a meia-altura, uniformemente distribuída em toda a largura
Deformação máxima de 8 mm abaixo de	1000 N/m aplicado perpendicularmente a meia-altura, uniformemente distribuída em toda a largura

1.6 Esquema do circuito eléctrico

Nas páginas seguintes.

BOMBARDIER

DETECÇÃO E CORRECÇÃO
DE AVARIAS

METRO DO PORTO

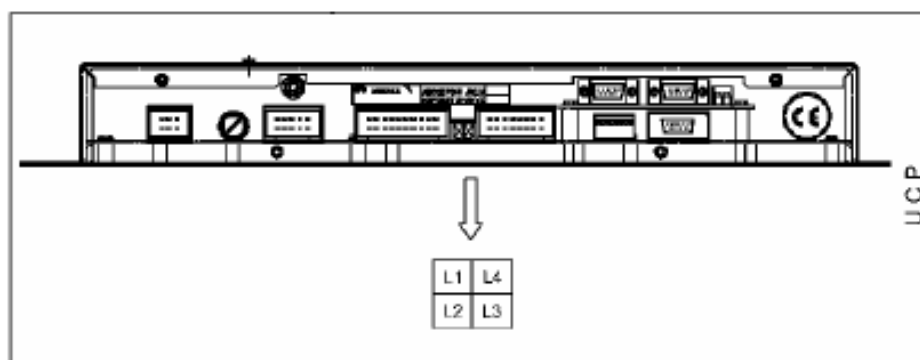


PORTAS

Edição: 3
3EVA 013 - EGAM

Procedimento

Implantação dos LED na UCP



LED 1 intermitente	A UCP está energizada
LED 2 aceso	Não há avarias detectadas
LED 3 aceso	A porta está activada
LED 4 aceso	Linha de baixa velocidade activada

Sintoma 1 – Porta não fecha após iniciar o movimento de fecho

Verificar:

1) Telescópico da porta

Averiguar se o telescópico se encontra encravado. Nesse caso, deverá limpar e lubrificar o telescópico.

2) Moto-reductor

Averiguar se o moto-reductor se encontra avariado. Nesse caso, deverá substituir o moto-reductor.

3) Um corpo estranho impede o movimento do mecanismo da porta

Verificar e limpar o mecanismo da porta.

4) DLS

Averiguar se o DLS se encontra avariado. Nesse caso, deverá substituir o DLS.

5) DCS

Averiguar se o DCS se encontra avariado. Nesse caso, deverá substituir o DCS.

- 6) Calhas de guiamento superior e inferior estão danificadas

Verificar o guiamento e as barras verticais de coordenação.

Sintoma 2 – Obstáculo não detectado

Verificar:

- 1) Estado da UCP

Averiguar se a UCP se encontra avariado. Nesse caso, deverá substituir a UCP.

- 2) Programação da UCP

Usar um computador portátil para actualizar o software da UCP.

- 3) Paralelismo das portas

Se pequenos obstáculos não são detectados em diferentes zonas da porta, então o paralelismo das portas está desalinhado sendo por isso necessário ajustá-lo em relação à moldura da caixa do veículo

Sintoma 3 – Porta não se movimenta (abertura / fecho)

Verificar:

- 1) Estado da UCP

Se o LED 1 está apagado, a UCP não foi activada. Verificar o fusível e o sistema de accionamento. Substituir a UCP se os testes iniciais falharam.

Se o LED 1 está intermitente, ligar um PC ao conector RS 232 da UCP. Substituir a UCP se as informações são de confiança.

- 2) Moto-redutor

Se o LED 1 está aceso, verificar alimentação do motor com um multímetro. Caso haja alimentação eléctrica, substituir o moto-redutor

Se o moto-redutor está encravado, substituir o moto-redutor.

- 3) Correia de transmissão danificada

Substituir a correia de transmissão.

4) Obstrução do telescópico

A porta tem dificuldade em movimentar-se no movimento de translação. Limpar e lubrificar o telescópico.

5) Um corpo estranho impede o movimento do mecanismo da porta

Verificar e limpar o mecanismo da porta.

6) Cabo de alimentação do motor está desligado ou cortado

Tornar a ligar o cabo de alimentação do motor ou substituí-lo.

Sintoma 4 – Porta não fica totalmente fechada

Verificar:

1) Manípulo de emergência

Rearmar o manípulo de emergência.

2) Ajustes internos do mecanismo da porta

As ajustes internos do mecanismo da porta não estão correctas: o local do ponto de apoio está incorrecto. Efectuar ajustamento.

3) Accionamento do mecanismo da porta para além do ponto de apoio

Verificar a montagem das ligações da biela de bloqueio.

Verificar o motor. Substituir se necessário.

Sintoma 5 – Funcionamento anormal da folha da porta

Verificar:

1) Parâmetros da UCP

Ligar um PC ao conector RS 232 da UCP e verificar os parâmetros de entrada/saída e o ajuste de baixa velocidade.

2) Funcionamento dos fins de curso

Caso haja ruído no movimento de abertura / fecho da porta, os fins de curso deverão ser substituídos.

3) Colocação dos roletes das barras de coordenação verticais nos carris de guiamento

Caso os roletes das barras verticais de coordenação estejam mal colocadas nos carris de guiamento, então verificar o guiamento da folha da porta. Tornar a montar a folha da porta, se necessário.

4) Correia de transmissão avariada

Substituir a correia de transmissão.

Sintoma 6 – Ruído anormal

Verificar:

1) Funcionamento dos fins de curso

Caso haja ruído no movimento de abertura / fecho da porta, os fins de curso deverão ser substituídos.

2) Obstrução do telescópico

A porta tem dificuldade em movimentar-se no movimento de translação. Nesse caso, deverá limpar e lubrificar o telescópico.

3) Um corpo estranho impede o movimento do mecanismo da porta

Verificar e limpar o mecanismo da porta e as calhas de guiamento.

Sintoma 7 – Impossibilidade de abertura manual pelo manípulo

Verificar:

1) Cabo de accionamento

Caso o cabo de accionamento esteja partido ou preso no revestimento, então substituir o dito cabo de accionamento.

2) Cabo de accionamento mal afinado

Afinar o cabo de accionamento.

Sintoma 8 – Falha da UCP

Verificar:

1) UCP

Caso a UCP esteja danificada, então isolar a respectiva porta e substituir a dita UCP. De seguida, activar de novo a porta.

2) Sinalizador exterior H1

Caso o sinalizador H1 não acenda substituir a lâmpada

3) Besouro exterior

No caso de avaria no besouro, substituí-lo

4) Sinalizador exterior H3

No caso de avaria, substituir a lâmpada

5) Botão de pressão de abertura

No caso de o botão não actuar, substituí-lo

6) LED do manípulo de emergência

No caso de curto-circuito, substituir o LED

Sintoma 9 – Mudança de estado incoerente da UCP

Verificar:

1) Porta indevidamente solta

Isolar a porta

2) Mola de bloqueio

Caso a mola de bloqueio esteja partida, então isolar a respectiva porta e substituir a mola de bloqueio. De seguida, activar de novo a porta.

3) Batente de bloqueio

Caso o batente de bloqueio esteja deslocado, então isolar a respectiva porta e ajustar / substituir o batente de bloqueio. De seguida, activar de novo a porta.

Sintoma 10 – Falha do sensor DCS

Verificar:

1) Sensor DCS

Caso o sensor DCS esteja preso, então isolar a respectiva porta e operar manualmente / substituir o sensor DCS. De seguida, activar de novo a porta.

2) Cabos eléctricos do DCS

Caso os cabos eléctricos do sensor DCS estejam danificados, então isolar a respectiva porta e substituir os cabos. De seguida, activar de novo a porta.

3) Excêntrico do DCS

Caso o excêntrico do sensor DCS esteja deslocado, então isolar a respectiva porta e ajustar o excêntrico. De seguida, activar de novo a porta.

Sintoma 11 – Falha do sensor DLS

Verificar:

1) Sensor DLS

Caso o sensor DLS esteja preso, então isolar a respectiva porta e operar manualmente / substituir o sensor DLS. De seguida, activar de novo a porta.

2) Cabos eléctricos do DLS

Caso os cabos eléctricos do sensor DLS estejam danificados, então isolar a respectiva porta e substituir os cabos. De seguida, activar de novo a porta.

3) Excêntrico do DLS

Caso o excêntrico do sensor DLS esteja deslocado, então isolar a respectiva porta e ajustar o excêntrico. De seguida, activar de novo a porta.

Sintoma 12 – Falha do relé K1

Verificar:

1) Relé

Caso o relé K1 esteja danificado, então isolar a respectiva porta e substituir o relé. De seguida, activar de novo a porta.

Sintoma 13 – Falha do circuito do motor eléctrico

Verificar:

1) Cabo flexível

Caso o cabo flexível esteja partido ou desligado, então ligar o dito cabo ou substituí-lo.

2) Motor eléctrico.

Verificar o motor eléctrico e, se necessário, substituir o motor.

Sintoma 14 – Corrente eléctrica do motor demasiado elevada ou tempo de abertura / fecho de porta demasiado elevado

Verificar:

1) Soleira da porta

Limpar a soleira da porta.

2) Telescópico

Limpar e lubrificar o telescópico

3) Rolamentos

Lubrificar os rolamentos ou substituí-los.

4) Batente do telescópico do mecanismo

Lubrificar ou substituir o batente.

Anexo III – Características dos Tipos de frenagem

2.1 Frenagem de serviço

A frenagem de serviço usa ambos os freios electrodinâmicos e hidráulicos.

Os freios hidráulicos são usados para compensar os freios electrodinâmicos quando a força electrodinâmica disponível não for suficiente para garantir o desempenho de frenagem requerida pelo manípulo de condução P1-5. A compensação do freio hidráulico é efectuada para velocidades superiores a 25km/h e inferiores a ≈ 5 km/h. Esta situação é visível na Figura 19. Os freios hidráulicos são actuados cerca de 0,5 segundos no início da frenagem para compensar o tempo de resposta dos freios electrodinâmicos.

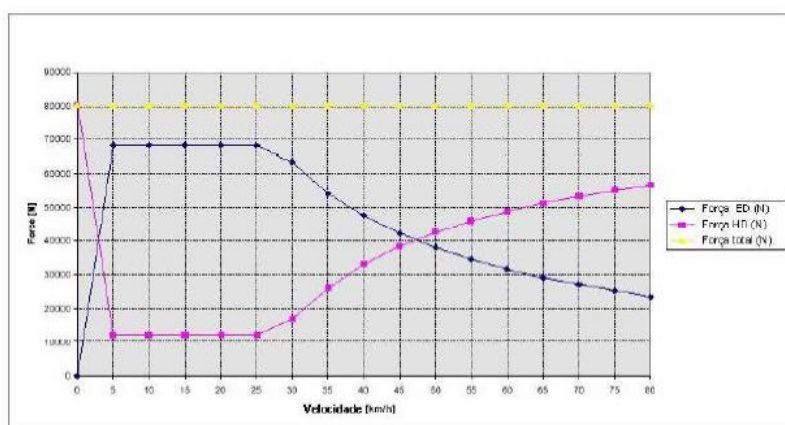


Figura 19 - Frenagem de serviço (condições máximas de carga) versus velocidade

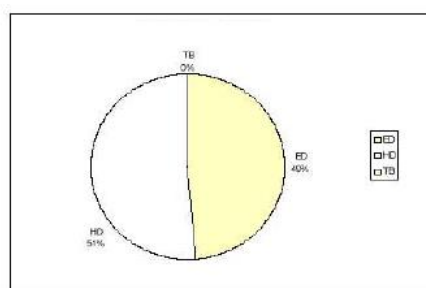


Figura 20 - Frenagem de serviço (condições máximas de carga)

Os freios hidráulicos são controlados pela BCU, que calcula a força hidráulica e aplica-a de uma forma controlada de forma a evitar a patinagem limitando assim a variação da aceleração, para deste

modo melhorar a performance e conforto dos passageiros.

No caso da falha dos freios electrodinâmicos ver 2.8, os freios hidráulicos garantem a paragem do veículo e a continuação do serviço apenas limitados pela performance térmica dos discos de freio. Estes limites apenas são atingidos após repetidas aplicações dos freios na velocidade máxima. Uma vez este limite atingido, as BCUs solicitam uma redução de velocidade máxima ao veículo.

Os freios hidráulicos utilizam a ejeção de areia comandada pelas BCUs e pelo WSP (sistema de controlo de patinagem) como forma de aumentar a aderência entre a roda e o carril e assim melhorar o desempenho da frenagem.

2.2 Frenagem de emergência

Este modo de frenagem aplica os freios hidráulicos, freios electrodinâmicos e os freios electromagnéticos.

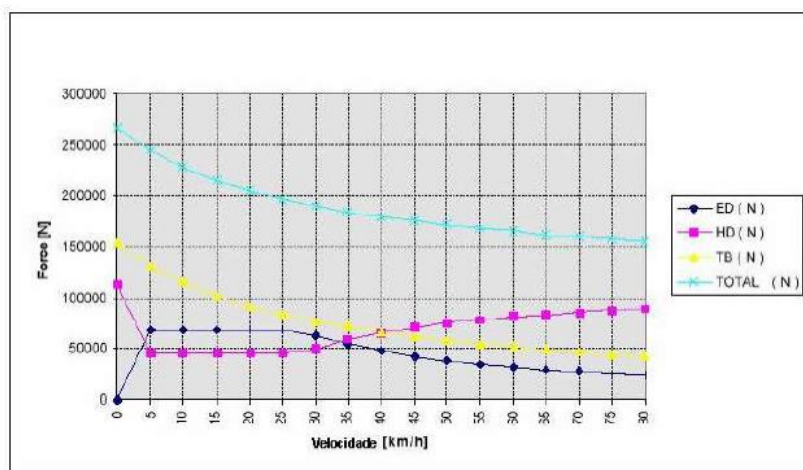


Figura 21 - Frenagem de emergência (condições máximas de peso) versus velocidade

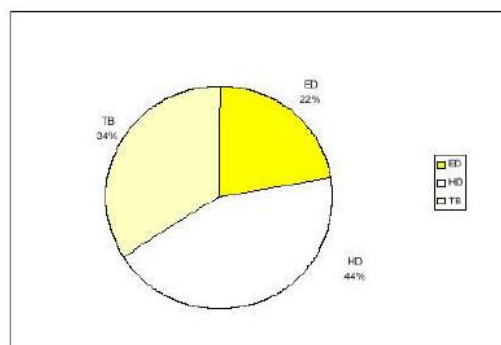


Figura 22 - Frenagem de emergência (condições máximas de carga)

Os sistemas WSP (anti-patinagem) do freio electrodinâmico e do freio hidráulico são activados como forma de aumentar a aderência entre a roda e o carril e assim melhorar o desempenho da frenagem. A interacção destes dois sistemas WSP não causam nenhum comportamento indesejável ao sistema de freios, mesmo tendo tempos de reacção distintos um do outro. De facto, o sistema hidráulica é mais rápido e opera de forma independente.

A actuação da frenagem de emergência é requerida pelas BCUs (através do barramento principal do veículo) ou pelos sinais eléctricos provenientes do manípulo de condução. Estes sinais têm prioridade absoluta perante a informação da BCU. Por razões de segurança, para um sinal de tensão nula corresponde uma frenagem de emergência.

O algoritmo de controlo da frenagem de emergência é do mesmo tipo da frenagem de serviço e garante, em caso de falha, a substituição dos freios electrodinâmicos e a regulação da frenagem, de acordo com peso do veículo.

A frenagem de emergência está integrada com o freio do patim electromagnético. A ejeção de areia é requerida pelas BCU se houver indicação por parte do controlo WSP.

2.3 Frenagem de parque

Ocorre quando a chave do condutor não se encontra no comutador da chave P1-4, resultando na actuação permanente dos actuadores hidráulicos nos discos de freio.

A frenagem de parque é usada para manter o veículo parado num gradiente máximo até 8%, e por um período de tempo indefinido. Através deste tipo de frenagem, os actuadores aplicam a força máxima disponível (pressão hidráulica de 0 bar).

2.4 Frenagem de imobilização

Ocorre automaticamente assim que o veículo atinge a velocidade zero, sendo a sua libertação controlada durante o arranque do veículo, possibilitando um correcto "ponto de embraiagem". Mantém o veículo imóvel quando este estiver numa estação.

Resulta na actuação permanente dos discos de freio.

A frenagem de imobilização é usada durante as paragens de serviço com o condutor dentro do veículo. As unidades de controlo hidráulicas permitem que os actuadores apliquem uma pressão hidráulica tal que garantem a imobilização do veículo num gradiente máximo até 8%.

2.5 Frenagem máxima

A frenagem máxima ocorre no caso da interrupção do laço de segurança das portas ou pela intervenção do sistema do homem-morto, originando a abertura do circuito eléctrico de controlo das válvulas de frenagem de segurança.

Permite obter a desaceleração do veículo, em caso de "ausência" do condutor. É uma frenagem de emergência automática, independente da acção do condutor, que aplica a actuação em simultâneo do freio electrodinâmico e do freio hidráulico. Tanto o freio do patim como o sistema WSP não estão activos.

A força de frenagem é fixa, não sendo ajustado de acordo com a carga, com um valor médio entre a carga máxima e a tara do veículo.

2.6 Frenagem electromagnética

Ocorre automaticamente, quando é accionada a frenagem de socorro, de emergência e, manualmente, através da pressão do botão P5-2 na cabina de condução, para testar a operacionalidade do patim ou para limpar os carris.

Aplica todos os patins electromagnéticos do veículo. Sendo a sua força de frenagem variável com a velocidade.

O diagrama da força tangencial aplicada é mostrado na Figura 11.

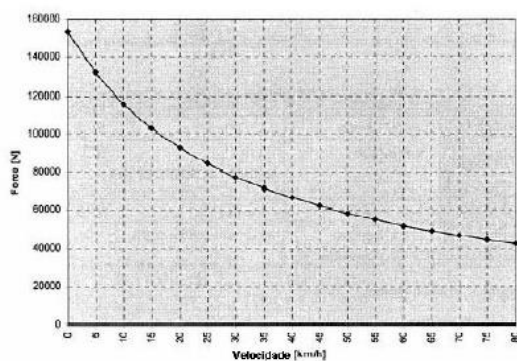


Figura 23 - Frenagem electromagnética *versus* velocidade

2.7 Frenagem de socorro

Ocorre quando o sistema ATP é actuado, quando existe uma falha de alimentação das baterias ou quando é pressionado o botão P5-1. Este circuito é alimentado por uma fonte isolada galvanicamente.

Permite obter a desaceleração máxima do veículo, em caso de emergência ou por incumprimento das regras de operação do veículo da linha.

Obtida através do accionamento máximo do freio hidráulico e do freio electromagnético. Um alarme sonoro é accionado cessando apenas quando o veículo se imobilizar.

2.8 Ausência da frenagem electrodinâmica

No caso de falha da frenagem electrodinâmica num bogie, a diminuição de força de frenagem electrodinâmica é automaticamente compensada. A sua substituição ocorre de acordo com a seguinte sequência:

- a unidade de controlo do conversor de tracção que alimenta o bogie detecta um problema na frenagem electrodinâmica, indicando a necessidade de compensação do esforço do freio hidráulico;
- a BCU do bogie com falha de frenagem electrodinâmica comunica, através do barramento MVB, a ineficiência electrodinâmica a todas as BCUs;
- as BCUs calculam o esforço hidráulico necessário para compensar a frenagem electrodinâmica. Este cálculo optimiza a frenagem em condições de segurança.

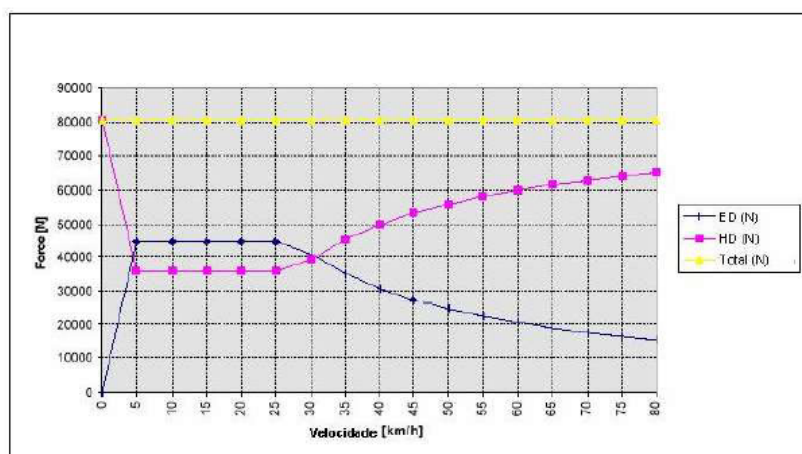
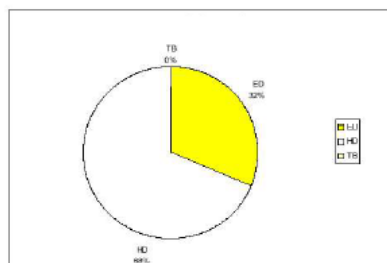


Figura 24 - Frenagem de serviço (condições de carga máxima) com ausência de frenagem electrodinâmica num bogie motor



Anexo IV – Árvore de falhas FTA

A técnica da Árvore de Falhas (FTA) foi introduzida, pela primeira vez, em 1962, na companhia Laboratórios e Telefones Bell em conexão com o sistema de avaliação de segurança do míssil intercontinental Minuteman. A companhia aérea Boeing implementou e melhorou esta técnica introduzindo, em computação, uma FTA tanto qualitativa como quantitativa. Atualmente é uma das técnicas mais utilizadas para estudos de risco e fiabilidade.

A análise de árvore de falhas é um diagrama lógico, realizado do topo para a base (top-down) que apresenta a inter-relação entre a potencial criticidade de um evento num sistema e as causas para ocorrer esse evento. As condições podem ser ambientais, como erro humano, eventos normais da vida útil de um sistema ou falhas específicas do componente ou sistema. Esta análise tanto pode ser quantitativa como qualitativa, ou até ambos, dependendo do objetivo da análise. [12]

O objetivo da realização de uma análise destas é:

- Compreensão do evento e o que leva ao estado indesejado de falha
- Identificação de potenciais causas de falha mesmo antes da falha ocorrer
- Avaliar as probabilidades de ocorrência de certos eventos e a probabilidade de ocorrem durante certos intervalos de tempo

E a análise da árvore de falhas é normalmente definida em 5 pontos:

1. Definição do problemas e condições fronteiras
2. Construção da árvore de falhas
3. Identificação do caminho crítico
4. Análise qualitativa
5. Análise quantitativa

Pode também ser comparada com análise binária pois todos os eventos são passíveis de acontecer ou não, não há níveis intermédios. A criação de um layout de FTA é conseguido através da junção de todos os eventos segundo o padrão e identificação apropriada de cada símbolo, identificados na imagem.

- a) Evento básico
- b) Evento Combinado
- c) Evento lógico “E”
- d) Evento lógico “OU”

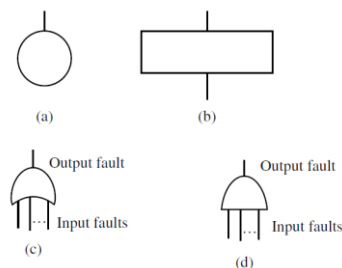


Figura 48: Simbologia FTA