



DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

CONTRIBUIÇÃO PARA O DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA INTEGRADO DE EXPLORAÇÃO E MANUTENÇÃO DE VEÍCULOS FERROVIÁRIOS

Projecto Mecânico I e Projecto Mecânico II

Diogo Montalvão e Silva
nº 42887

Orientadores
Prof. Manuel Cruz
Engº João Craveiro
Engº Mário Almeida Santos

Lisboa, 14 de Setembro de 2001

IDENTIFICAÇÃO DO AUTOR

NOME COMPLETO

Diogo Coelho de Carvalho Montalvão e Silva

MORADA

Av. Elias Garcia, nº 171, 1º Esq., 1050-099 Lisboa

CONTACTO TELEFÓNICO

Telefone de casa: 21 797 15 05

Telemóvel: 96 704 40 55

CORREIO ELECTRÓNICO

dmontalvao@hotmail.com

dmontalvao@iol.pt

DADOS RELATIVOS À LICENCIATURA

Matrícula: Aluno nº42887 do Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Portugal

Curso: Engenharia Mecânica

Ramo: Produção e Construção Mecânica

NOTA

ESTE DOCUMENTO CONTÉM INFORMAÇÕES DE CARÁCTER CONFIDENCIAL QUE NÃO PODEM SER DIVULGADOS SEM A AUTORIZAÇÃO EXPRESSA DO AUTOR EM SIMULTÂNEO COM AS EMPRESAS MIIT (MANUTENÇÃO INDUSTRIAL INFORMATIZADA E TECNOLOGIA, LDA) E BOMBARDIER TRANSPORTATION.

AGRADECIMENTOS

O autor deseja expressar os seus agradecimentos

Ao Eng^o João Craveiro, director geral do MIIT, e ao Eng^o Mário Almeida Santos do departamento de apoio ao cliente da Bombardier Transportation pela coordenação e apoio sem os quais este trabalho não poderia ser concluído;

Ao Eng^o Carlos Gomes Marques do MIIT pelos conselhos, apoio constante e incansável colaboração ao longo de todo o projecto;

Finalmente, o autor deseja agradecer a todos aqueles com quem teve o privilégio de trabalhar diariamente, pelas dificuldades que o ajudaram a superar durante o projecto e pela forte amizade pessoal e profissional fundada, Eng^o Pedro Leite, Eng^o José Alegre, Eng^o Miguel Costa, Eng^o Tiago Pires, Eng^o Luís Silvestre, Eng^o José Azevedo, Eng^o Luís Cabrita e Eng^o Rui Almeida.

ÍNDICE

Âmbito do Trabalho.....	xi
1 Introdução	1
2 Caso de Estudo – O Veículo Metro do Porto	5
2.1 Introdução	5
2.2 Breve Olhar Sobre o Sistema.....	5
2.2.1 O Veículo.....	5
2.2.2 O Traçado	7
2.2.3 Oficinas de Manutenção e Parques de Material.....	9
2.3 Principais Características do Veículo.....	10
2.3.1 Descrição geral	10
2.3.2 Bogies.....	11
2.3.2.1 Estrutura do Bogie.....	13
2.3.2.2 Rodas resilientes.....	14
2.3.2.3 Suspensão primária.....	15
2.3.2.4 Suspensão Secundária.....	17
2.3.2.5 Tirantes de Tracção e Batentes Laterais	18
2.3.2.6 Lubrificadores de Verdugo	19
2.3.2.7 Mecanismo de ligação à terra.....	22
2.3.2.8 Barra anti-rolamento.....	23
2.3.2.9 Caixa redutora	24
2.3.2.10 Deflector de Obstáculos e Limpa-Trilhos.....	27
2.3.3 Caixa.....	28
2.3.4 Foles	31
2.3.5 Tracção	33
2.3.6 Frenagem	36
2.3.7 Controlo do Veículo.....	39
2.3.8 Pneumático	39
2.3.9 Captação de Energia.....	41
2.3.10 Auxiliares	42
2.3.10.1 Instrumentos de Condução.....	43
2.3.10.2 Conversor Auxiliar e Baterias.....	43
2.3.10.3 Sistema de Iluminação.....	45
2.3.11 Portas.....	46

2.3.12	Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado (AVAC).....	48
2.3.12.1	Sistema de AVAC no Salão de Passageiros.....	48
2.3.12.2	Sistema de AVAC na Cabina	49
2.3.13	engate automático.....	50
2.3.14	Comunicação.....	59
2.3.14.1	Sistema de Informação ao Áudio.....	59
2.3.14.2	Sistema de Informação Visual.....	59
2.3.14.3	Sistema de Vídeo	61
2.3.14.4	Gravador de Registos.....	62
2.3.14.5	Dispositivo ATP / IMU.....	62
2.3.15	Sistemas de Segurança.....	62
3	Introdução à Manutenção.....	65
3.1	Conceitos Básicos.....	65
3.1.1	Introdução	65
3.1.2	Terminologia da Manutenção	66
3.1.3	Manutenção Correctiva.....	67
3.1.4	Manutenção Preventiva	69
3.1.4.1	Manutenção Preventiva Periódica	71
3.1.4.2	Manutenção Preventiva Condicionada	72
3.2	Análise da Função Manutenção.....	74
3.3	Manutenção Centrada na Fiabilidade – A Análise RAMS.....	76
3.3.1	Introdução	76
3.3.2	Fiabilidade.....	79
3.3.3	Taxa de Avarias.....	80
3.3.4	Distribuições mais usadas em Fiabilidade	82
3.3.4.1	Distribuição Exponencial	82
3.3.4.2	Distribuição Normal	84
3.3.4.3	Distribuição de Weibull	86
3.3.5	O Tempo Médio de Falha (MTBF)	89
3.3.6	O Tempo Médio de Reparação (MTTR)	90
3.3.7	O processo completo de reparação-falha-reparação.....	91
3.3.8	Disponibilidade	92
3.4	Comentários Finais.....	95
4	Aplicações Informáticas.....	99
4.1	Introdução	99

4.2	WinMac98	99
4.3	AvSim+	100
4.3.1	Diagrama de Blocos (RBD).....	101
4.3.2	Análise em Árvore de Falhas (FTA).....	105
5	Projecto SEM XXI	107
5.1	Estratégia Desenvolvida	107
5.2	Informação Coligida	109
5.3	Actividades SEM XXI – Processamento da Informação	110
5.3.1	Estrutura	110
5.3.1.1	Estruturação da Informação	111
5.3.1.2	Ópticas de Codificação	113
5.3.1.3	Codificação de Localizações e Entidades.....	114
5.3.1.4	Caracterização Técnica dos Objectos de Manutenção - Funções e Famílias	116
5.3.1.5	Forma do Código de Funções, Famílias e Entidades	117
5.3.1.6	Forma do Código de Localização.....	118
5.3.2	Caracterização Técnica.....	119
5.3.3	Redes	121
5.3.4	Análise Funcional	122
5.3.5	Análise Modal de Falhas e seus Efeitos (FMECA)	123
5.3.6	Planos de Manutenção.....	128
5.3.7	Plano RAMS.....	131
5.3.7.1	Condições a Verificar	132
5.3.7.2	Lista de Equipamentos e Taxas de Falhas Associadas.....	133
5.3.7.3	Influência do Plano de Manutenção na Fiabilidade	136
5.3.7.4	Órgãos.....	138
5.3.7.5	Construção dos Diagramas de Blocos	143
5.3.7.6	Resultados Obtidos.....	151
5.3.7.7	Discussão de Resultados.....	153
5.3.8	Preparações de Trabalho.....	156
5.3.8.1	Conteúdo Genérico das Preparações de Trabalho.....	157
5.3.8.2	Codificação das Preparações Preventivas (WinMac98).....	160
5.3.8.3	Codificação das Preparações Correctivas (WinMac98).....	163
5.3.8.4	Codificação das Fases das Preparações (WinMac98)	164
5.3.9	Manutenção Integrada no Veículo	168
5.3.9.1	Manuais de Manutenção	168
5.3.9.2	Manuais de Instruções Técnicas.....	169

5.3.9.3	Manual do Condutor	170
5.3.9.4	Catálogo Electrónico de Peças Sobressalentes (EPC)	172
5.3.9.5	Resolução de Problemas (<i>Troubleshooting</i>)	172
6	Comentários Finais	175
	Referências Bibliográficas	179

ÂMBITO DO TRABALHO

Este trabalho insere-se no âmbito do projecto SEM XXI¹ co-financiado pelo PEDIP II, cujo *case study* é o veículo Metro do Porto. Os objectivos prendem-se com o desenvolvimento de um sistema de exploração e manutenção de veículos ferroviários baseado na metodologia RAMS², elaboração de manuais de instruções técnicas e manuais de manutenção com incidência no custo do ciclo de vida dos equipamentos. As actividades desenvolvidas (no âmbito do PEDIP iniciaram-se em 1 de Fevereiro de 1999 tendo terminado em 30 de Setembro de 2000, muito embora o trabalho tenha prosseguido por subcontratação do MIIT por parte da ADranz.

Os trabalhos aqui descritos foram desenvolvidos por uma equipa conjunta da ADranz e do MIIT, na qual o autor do presente trabalho se insere desde 28 de Setembro de 1999, em estreita colaboração com a engenharia de projecto do veículo, bem como os demais departamentos envolvidos no projecto Metro do Porto, para a validação dos trabalhos desenvolvidos.

A equipa de trabalho foi organizada por especialidades, à imagem da organização da engenharia de projecto do veículo, por apresentar vantagens evidentes no fluxo de informação e responsabilizar profundamente e por igual todos os membros da equipa, em todas as áreas. No entanto, a informação disponível sobre o *EuroTram* do Porto tinha inicialmente um carácter preliminar, pelo que a formação de especialistas do SEM XXI foi feita com base na informação disponível acerca do *EuroTram* de Estrasburgo, veículo de características muito semelhantes.

Cada especialista foi encarregue de pesquisar em detalhe as bases de dados do grupo ADranz (nomeadamente no Reino Unido) para obter toda a informação disponível sobre os sistemas da sua responsabilidade, proceder à sua tradução e adaptação preliminar e preparar uma apresentação a fazer ao PEDIP, aos outros parceiros do consórcio e à engenharia do projecto que teve lugar no dia 22 de Março de 2000.

Posteriormente, e à medida que a informação definitiva sobre o veículo Metro do Porto foi sendo recebida, cada especialista foi-se continuamente actualizando nos seus sistemas, e necessariamente, foi actualizando todos os dados por si tratados ao longo do SEM XXI. Foi também providenciada continuamente formação adequada sobre todas as aplicações informáticas utilizadas (nomeadamente WinMac98, Item e AvSim+) a todos os especialistas do SEM XXI, neste caso por formadores do MIIT.

No que diz respeito à actividade do autor durante o desenvolvimento do projecto, este teve a seu cargo diversas tarefas, das quais se destacam:

¹ A sigla SEM XXI é utilizada para descrever “Sistema Integrado de Exploração e Manutenção de Ferroviários”

² O acrónimo inglês RAMS (*Reliability, Availability, Maintainability and Safety*) é utilizado para descrever Fiabilidade, Disponibilidade, Manutibilidade e Segurança.

- Foi responsável pelo estudo completo do sistema engate automático, nomeadamente na estruturação, caracterização, análise funcional e de falhas, elaboração dos planos de manutenção e preparações de trabalho, análise RAMS e elaboração dos manuais de manutenção e instruções técnicas;
- Colaborou na elaboração dos manuais (de manutenção e/ou instruções técnicas) referentes aos *Bogies*, Sistema de Vídeo, Sistema de Informação ao Passageiro e Sistema de Captação de Energia (Pantógrafo);
- Elaborou o catálogo electrónico de peças sobressalentes de todos os sistemas do veículo;
- Participou na concretização das especificações técnicas de ferramentas especiais para as oficinas de manutenção e parques de material;
- Actualmente encontra-se a colaborar activamente na elaboração do manual do condutor.

1 INTRODUÇÃO

A necessidade de deslocação nos dias de hoje é cada vez mais uma realidade que exige resposta eficaz e de baixo custo. O local de trabalho das populações encontra-se distante das suas habitações, devido tanto ao crescimento dos centros urbanos como ao elevado encargo que representa uma residência em zonas centrais. Os acessos rodoviários, ainda que tenham vindo a evoluir no sentido de serem otimizados, continuam a não responder às exigências do congestionamento diário que se verifica nos grandes centros urbanos.

Face a este panorama, urge encontrar uma forma de tornar a vida das pessoas mais confortável no seu dia a dia, conduzindo a uma minimização das horas perdidas durante o tráfego automóvel. Os benefícios são vários, não só para os utentes, como também para o turismo, comércio e empresas em geral. O *stress* diminui pelo alargamento das horas que compõem o dia para lazer e outras tarefas, bem como a produtividade dentro do local de trabalho.

É reconhecida [1] hoje em dia a necessidade de apostar em sistemas ferroviários para aliviar o congestionamento do tráfego automóvel (cuja expansão não tem parado) como sendo o que reúne as melhores características para atacar o problema em questão. A aposta neste tipo de sistema é contudo, em Portugal, um negócio de elevado risco, não rentável e que se traduz num elevado encargo social.

Por outro lado, e por forma a viabilizar a alternativa e complementaridade do transporte ferroviário face a outros meios de transporte, foi criada uma “Task Force” pela Comissão Europeia – “Directorate-General VII (Transport), Directorate E (Development of Transport Policy)” – designada “Trains and Railway Systems of the Future” que aponta para a necessidade de uma redução entre 40% a 50% do custo do ciclo de vida dos equipamentos de um sistema ferroviário e para uma redução de 50% dos custos de transporte em segmentos de mercado específicos, num futuro próximo.

As exigências feitas durante a fase de adjudicação dos projectos às entidades competentes alargam-se a planos complementares. O desafio de entregar um equipamento com determinadas características pelo preço mais razoável obedecendo a um determinado conjunto de regras deixa de ser um conceito de interesse culminante. A acção e o desempenho prosseguem por forma a que sejam garantidos determinados valores de fiabilidade e disponibilidade aos equipamentos, abrangendo ainda a garantia de se entregar o equipamento em condições de realizar um dado lucro. É fulcral a criação de planos de manutenção, análises funcionais e de falha dos equipamentos, perscrutar soluções alternativas à forma como se abordam determinados equipamentos durante a sua manutenção, conhecer do ponto de vista do controlo de condição, e não só, o ciclo de vida dos equipamentos e o seu historial em fase de funcionamento, aplicar uma estratégia de desenvolvimento e re-engenharia, entre outros. No fundo, o projecto não pára na concepção e fabrico do equipamento: prossegue até à sua entrega passando por um período de exploração .

Este projecto nasce da associação de um grupo de entidades intervenientes no panorama ferroviário nacional (ADtranz, EFACEC e EMEF), instituições de alto prestígio no sector

científico (IST, FEUP, ISQ e INETI) e por uma empresa especializada em manutenção industrial moderna (MIIT), que resolveram empreender um esforço comum no sentido de adquirir capacidades necessárias para abordar a manutenção e exploração integradas de um sistema ferroviário em fase de desenvolvimento, numa perspectiva actual e inovadora.

A sua estratégia é direccionada para a minimização do custo do ciclo de vida dos equipamentos, actuando primordialmente ao nível da sua exploração e manutenção integradas, não descurando os resultados a nível da produção e a componente ambiental (reutilização/reciclagem).

Nela serão desenvolvidas as seguintes áreas principais:

- Metodologia de acção - Esta fase do projecto tem como objectivo desenvolver:
 - um modelo de fiabilidade dos equipamentos através da caracterização dos seus modos de falha;
 - um modelo de manutenção a adoptar para cada sistema, definido com base na experiência conjunta do fabricante e do operador, no modelo de fiabilidade acima descrito e tendo em conta as necessidades de exploração que incluirá os diversos tipos de manutenção;
 - uma estruturação funcional da manutenção, que envolve a definição e especificação de toda a organização de manutenção;
 - melhorias significativas em equipamentos ou sistemas por razões relacionadas com desempenho, fiabilidade ou manutibilidade, de modo a otimizar o custo do ciclo de vida do sistema;
- Sistema integrado de gestão - É a concretização da metodologia de acção. Tem em vista a integração das acções e metodologias de manutenção com a exploração, reengenharia e, finalmente, com a reutilização/reciclagem. É conseguido através do desenvolvimento de bases de dados enriquecidas com uma vasta quantidade e diversidade de informação e da utilização de uma aplicação informática destinada a gestão da manutenção, gestão da exploração, diagnóstico de avarias, etc.;
- Técnicas de controlo de condição - No âmbito deste projecto, pretende-se avaliar a aplicabilidade da implementação de um sistema de manutenção condicionada através da utilização de técnicas tais como análise de vibrações, análise de óleos, visão artificial e termografia;
- Modelo / manual de regras de boa prática - Constitui a tradução da experiência obtida num conjunto de procedimentos de gestão global de um sistema ferroviário, nos diversos elementos da sua cadeia e valor e em todas as suas fases.

Assim, ao nível do sector ferroviário nacional, este projecto tem como carácter inovador:

- Introdução de novos conceitos de manutenção no sistema ferroviário, que já demonstraram ter impacto muito positivo nos custos de manutenção e operação de outros meios de transporte, nomeadamente transporte aéreo;
- Estruturação e organização da manutenção de forma integrada em todas as suas vertentes;
- Orientação para as filosofias de gestão para a qualidade total através do envolvimento e mobilização de todos os intervenientes em conjunto desde a fase de concepção;
- Adaptação de meios informáticos e seu desenvolvimento;
- Optimização dos sistema, coerência e eficácia de acções com resultados ao nível do meio ambiente.

Para a concretização dos objectivos a que um projecto desta envergadura se propõe, é fundamental adoptar uma metodologia coerente e prática que possa ser facilmente adaptada a projectos futuros que partilhem do mesmo conceito base. Este trabalho está organizado de maneira a que, pelo menos, se possa inferir a essência dessa metodologia através da sua demonstração prática. Assim, entendeu-se que este trabalho iria estar dividido em 6 capítulos principais que estão encadeados. Deste modo, aconselha-se a que a leitura do quinto capítulo, que é a alma deste trabalho como se verá adiante, seja precedida da apreciação de todos os anteriores, embora esses possam ser lidos individualmente sem que a sua interpretação seja prejudicada.

É importante compreender que este trabalho tem origem na contribuição do autor para um projecto de uma dimensão que seria demasiado extensa para ser executada por um único elemento, pelo que o mérito da execução das tarefas pertence a todo um conjunto de pessoas que constituem uma equipa. Desta forma, não se pretende com este trabalho, enquanto projecto final de curso, executar um determinado número de acções mas sim expor a forma como se poderão executar de acordo com os conhecimentos adquiridos.

Sendo o principio fundamental deste projecto a concepção de uma metodologia utilizando como caso de estudo o veículo Metro do Porto, torna-se fundamental conhecer o veículo para que a apreensão dos conceitos futuros seja de assimilação acessível. É no segundo capítulo denominado de Caso de Estudo – O Veículo Metro do Porto, que se pode identificar toda a complexidade que envolve a concepção, dimensionamento e integração dos sistemas de um veículo ferroviário.

É evidente que este trabalho não consiste no projecto convencional de componentes mecânicos: a sua filosofia está direccionada unicamente para a manutenção, pelo que é imprescindível conhecer os seus mecanismos e regras. No terceiro capítulo, denominado de Introdução à Manutenção, percorrem-se os fundamentos teóricos que sustentam esta ciência. De início, são abordados os conceitos mais tradicionalistas, por forma a situar o leitor e a que possam ser introduzidos posteriormente e de forma clara as ideias mais

progressistas, com incidência na manutenção centrada na fiabilidade, i.e., a análise RAMS.

No projecto de veículos ferroviários verifica-se que é prática comum explorar as capacidades que as novas tecnologias da informação colocam à disposição. O mesmo não acontece nas diversas áreas da manutenção ferroviária, o que vem reforçar o aspecto inovador do Projecto SEM XXI. Justifica-se assim a inclusão de um curto quarto capítulo dedicado à caracterização e descrição dos programas de apoio informáticos utilizados, ao que se denominou Aplicações Informáticas. Aqui é possível ficar-se com uma ideia das potencialidades que algumas das aplicações informáticas disponíveis no mercado têm na função manutenção, bem como compreender a forma como processam e relacionam os dados.

Neste momento já se está em condições de apresentar o trabalho que está directamente relacionado com os objectivos propostos no primeiro capítulo. De facto, o conteúdo de todos os capítulos anteriores é essencial para a devida apreensão dos conceitos desenvolvidos no quinto capítulo, denominado de Projecto SEM XXI em homenagem ao projecto que o apadrinha. Este capítulo está dividido em três partes que importam referir:

- A Estratégia Desenvolvida onde se descreve de forma esquemática e intuitiva toda a metodologia desenvolvida (no fundo é a nota introdutória do quinto capítulo);
- A Informação Coligida, em que é listado o tipo de documentação estudado, processado e armazenado em conjunto com a origem e fonte da informação;
- As Actividades SEM XXI – Processamento da Informação. Nesta secção são descritas em detalhe todas as fases mencionadas na Estratégia Desenvolvida, acompanhadas de exemplos práticos (com especial incidência no engate por ser o sistema que o autor acompanhou regularmente) e de referências aos anexos que lhe servem de suporte.

Finalmente tem-se o sexto capítulo denominado de Comentários Finais, espaço explicitamente reservado para que o autor deixe registados comentários e observações que considere pertinentes e de interesse relevante para a conclusão deste trabalho.

2 CASO DE ESTUDO – O VEÍCULO METRO DO PORTO

2.1 INTRODUÇÃO

Pretende-se com o Projecto SEM XXI, não só desenvolver um modelo de gestão específico para o sector ferroviário nacional, mas também torná-lo suficientemente flexível e versátil de maneira a que possa ser aplicado noutras áreas de intervenção futuramente. No entanto, o objectivo primordial a atingir não deixa de estar relacionado com o sector ferroviário, e devido à sua inovação, torna-se necessário utilizar um modelo cujos requisitos satisfaçam em pleno este sector.

O acaso, o enquadramento temporal e os elevados padrões de qualidade exigidos para a concretização do Metro do Porto, torna-o ideal para ser utilizado como caso de estudo para o Projecto SEM XXI. A aliança de ambos é fundamental para que os requisitos impostos sejam cumpridos sem prejuízo para a entidade exploradora bem como para a eventual clientela futura.

Assim, urge introduzir de forma breve o grupo de veículos em que se pode enquadrar o Metro do Porto.

2.2 BREVE OLHAR SOBRE O SISTEMA

2.2.1 O VEÍCULO



Fig. 1 Veículo Metro do Porto (Imagem manipulada no programa informático *CATIA*)

O veículo Metro do Porto (Fig. 1) consiste num sistema de metro ligeiro de superfície, tendo como modelo o sistema ferroviário implantado em Estrasburgo (Fig. 2). Tal como no veículo anterior, a sua arquitectura exterior encontra-se revestida por superfícies envidraçadas ao longo de todo o perímetro, facilitando a iluminação interior e proporcionando aos passageiros uma maior distração com o panorama durante o percurso.



Fig. 2 Fotografia exterior do Metro de Estrasburgo

Dispondo de 78 lugares sentados para uma capacidade de 200 passageiros, foi concebido tendo em vista uma densidade de passageiros uniforme ao longo do veículo. O facto de 24 destes lugares serem rebatíveis confere-lhe uma versatilidade capaz de reagir a aumentos pontuais de procura.

O seu piso, inteiramente rebaixado, permite condições de acessibilidade adequadas até mesmo a pessoas de mobilidade reduzida, com cadeiras de rodas, carrinhos de bebé ou de compras, ou em situações demais. As grandes vantagens deste tipo de solução explicam a tendência da sua adopção, cada vez mais generalizada, não só em veículos ferroviários mas também em veículos rodoviários, tais como, autocarros. De facto, verifica-se que este tipo de solução conduz a maiores facilidade, comodidade e segurança durante as entrada, saída e circulação dos passageiros, menores tempos de paragem nas estações e, portanto, maiores velocidades comerciais e maiores taxas de ocupação dos veículos.

No que diz respeito ao conforto, existem diversos sistemas dedicados: A suspensão resulta da conjugação de rodas resilientes independentes com uma suspensão primária de borracha e uma suspensão secundária pneumática autonivelante, para qualquer situação de carga; o ambiente interior é controlado pelo sistema de ar condicionado incorporado; o ruído é substancialmente reduzido pelos cuidados tomados no que diz respeito à insonorização do habitáculo.

Finalmente, resta referir a segurança dos passageiros, tema com crescente peso na definição da qualidade de qualquer entidade. Existem câmaras de vídeo instaladas no interior dos salões de passageiros, com a possibilidade de registo de imagem a partir da cabina do condutor; a circulação é proporcionada por 12 portas ao distribuídas uniformemente ao longo do veículo (2 portas de cada lado do salão de passageiros); é possível imobilizar cadeiras de rodas ou carrinhos de bebé no interior do veículo; entre outros.

Em resumo, o veículo metro do porto apresenta as seguintes características principais:

- Comprimento: 35 metros
- Largura: 2,65 metros
- Altura (sem pantógrafo): 3,3 metros
- Massa: 40.5 Toneladas
- Capacidade (passageiros sentados): 78 pessoas
- Capacidade total: 200 pessoas
- Capacidade máxima: 250 pessoas
- Velocidade máxima: 80 km/h

2.2.2 O TRAÇADO

A rede é composta por quatro linhas eléctricadas a 750Vcc. Uma linha Sul/Norte, que começa em Sto. Ovídeo em Vila Nova de Gaia, atravessa o Rio Douro pela ponte centenária D. Luiz I, dirigindo-se para o Hospital de S- João no extremo Norte da cidade do Porto. Uma segunda linha, que se desenvolve desde a estação ferroviária da Campanhã, a nascente da cidade do Porto, até à cidade portuária de Matosinhos, dá seguimento às restantes duas linhas no nó situado em Sra. da Hora a poente. A partir deste ponto, as linhas divergem em direcção à Póvoa do Varzim e a Trofa.

Estas linhas utilizarão o canal ferroviário entre a Trindade, no centro da Cidade do Porto, e a Sra. da Hora, que será afectado, em exclusivo, ao sistema de metro ligeiro. As linhas da Póvoa do Varzim e da Trofa aproveitam ainda, parcialmente, os canais ferroviários já existentes, e que serão também utilizados em exclusivo pelo novo sistema.

Com a afectação ao sistema de linhas ferroviárias já existentes optimizou-se o investimento público. Estas serão totalmente remodeladas e modernizadas, dotando-as de parâmetros de qualidade, incluindo, dispositivos anti-ruído e anti-vibrações.

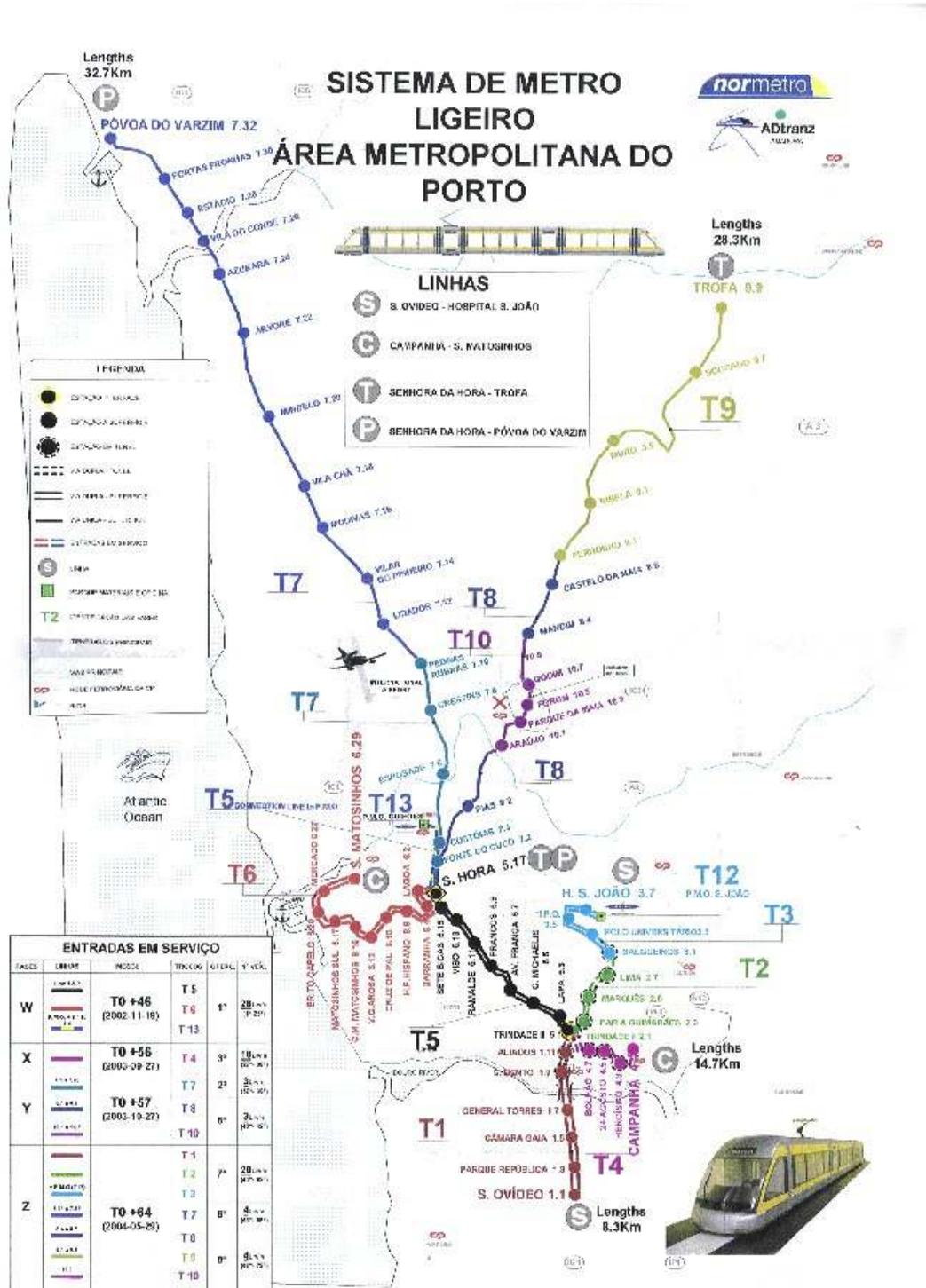


Fig. 3 Traçado da linha destinada à circulação do veículo Metro do Porto

A renovação integral da via, com alteração da bitola métrica para bitola *standard*, a construção de novos cais, a remodelação dos edifícios das estações já existentes, a electrificação e a instalação de equipamentos de telecomunicações, assim como, a segurança e controlo de tráfego, dotarão o sistema de elevados níveis de segurança, fiabilidade e conforto.

2.2.3 OFICINAS DE MANUTENÇÃO E PARQUES DE MATERIAL

O apoio logístico à rede de Metro Ligeiro do Porto será assegurado por duas oficinas, uma de apoio à linha Sul / Norte, para limpeza e pequenas reparações, localizada junto ao hospital de S. João, e uma outra preparada para grandes intervenções de manutenção, situada em Guifões (Fig. 4).



Fig. 4 Pormenor da localização das oficinas de manutenção e parques de material

A oficina de Guifões, com capacidade para 15 veículos, tem 10 linhas cobertas das quais 6 são electrificadas. Dispõe ainda de instalações para manutenção das instalações fixas e uma estação de serviço com lavagem automática. O Posto Central de Comando do Sistema³ será instalado junto desta oficina.

Junto a cada uma destas oficinas de manutenção existe um parque de material de apoio à operação do Sistema.

O estacionamento dos veículos poderá ser feito nas oficinas ou noutros pontos destinados a esse fim, com vista à redução dos quilómetros percorridos a vazio (estimados em 359008km), sendo que anualmente o material circulante percorrerá um total de cerca de 7519287km.

³ Doravante, o Posto Central de Comando do Sistema passará a ser referido pela sigla PCC.

2.3 PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DO VEÍCULO

2.3.1 DESCRIÇÃO GERAL

O veículo, representado na Fig. 5, é constituído por sete módulos articulados:

- Duas cabinas de condução localizadas em ambos os extremos, designadas por módulos A e G (a amarelo na figura);
- Três salões de passageiros, designados por módulos B, D e F (a azul na figura);
- Dois ICM's⁴, designados por módulos C e E (a encarnado na figura).

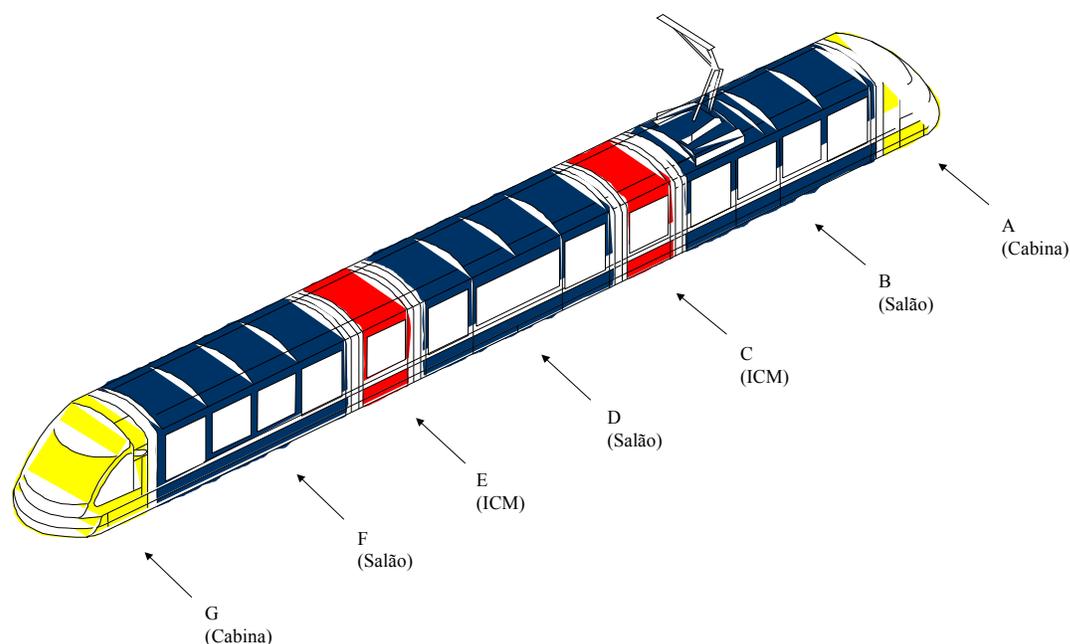


Fig. 5 Esquema modular do veículo Metro do Porto

É bidireccional, alimentado a 750 Vcc por catenária e com um comprimento de 35m e 2,65m de largura. Está dotado de plataforma baixa integral, a 35cm do solo, e de sistemas de segurança capazes de evitar acidentes durante o embarque e desembarque. O veículo foi concebido para permitir um transporte seguro, rápido, silencioso e confortável aos passageiros sem prejudicar o meio ambiente.

Engloba um vasto número de funcionalidades e sistemas, que se passam a citar:

⁴ O acrónimo inglês ICM (*Inter-Communication Module*) é utilizado para descrever Módulo de Inter-Comunicação.

- Bogies;
- Caixa;
- Foles;
- Tracção;
- Frenagem;
- Controlo do Veículo;
- Pneumático;
- Captação de Energia;
- Auxiliares;
- Portas;
- Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado (AVAC);
- engate automático;
- Comunicação;
- Sistemas de Segurança.

2.3.2 BOGIES



Fig. 6 Bogie Motor

O bogie garante a integridade dinâmica do veículo servindo de suporte às funções de frenagem, propulsão e suspensão.

O veículo é constituído por quatro bogies (três motores, nos módulos A, E e G, e um reboque, no módulo C - ver Fig. 7). Cada bogie motor tem quatro braços articulados que suportam o conjunto motor/caixa redutora/roda e o conjunto de frenagem. Existem quatro conjuntos de frenagem em cada bogie e cada um está equipado com uma unidade de geração hidráulica (HPU) e o respectivo sistema de controlo electrónico.

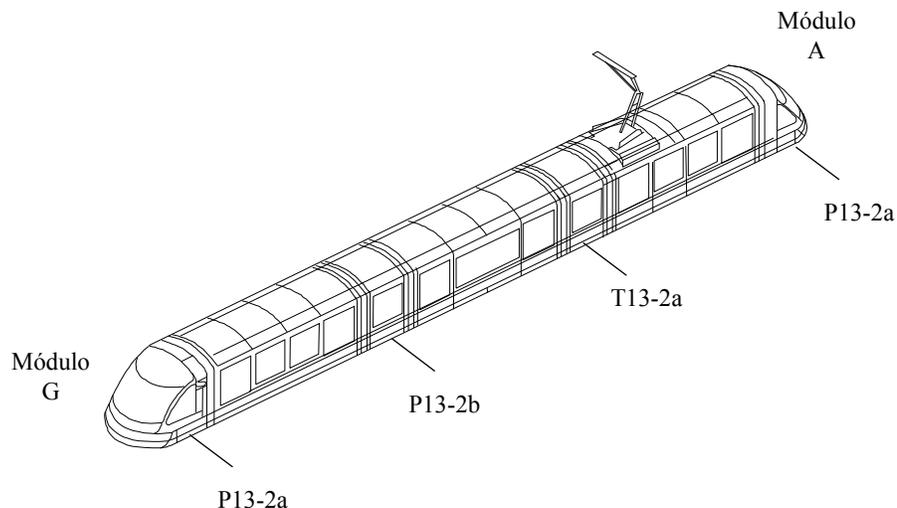


Fig. 7 Disposição dos Bogies no veículo. As designações dos bogies têm que ver com as suas características próprias: o bogie T13-2a é reboque e os P13-2a e P13-2b são motores, com a diferença de que a suspensão primária do segundo é mais rígida, tal como a suspensão primária do bogie reboque (devido a suportar esforços superiores)

O bogie tem as seguintes características principais:

- Quatro rodas motrizes independentes (um motor por roda), no caso do bogie motor;
- Rodas do tipo resiliente;
- Diâmetro da roda entre 550 a 500 mm;
- Largura da roda de 100 mm;
- Embasamento de 1400 mm;
- Suspensão primária através de molas de borracha, montadas na carcaça da caixa redutora;
- Suspensão secundária através de bolsas de ar (quatro), amortecedores verticais (quatro) e horizontais (dois);
- Freios electro-hidráulicos com discos auto-ventilados;

- Freios de patim electromagnéticos;
- Pulverizadores de lubrificador de verdugo (apenas bogie C);
- Sistema de refrigeração dos motores de tracção (bogies A, E e G);

No decorrer do presente capítulo (2.3) será possível compreender a função do bogie enquanto elemento agregador de sistemas e equipamentos.

2.3.2.1 ESTRUTURA DO BOGIE

A estrutura do Bogie (Fig. 8) é em aço vazado com pratos de aço formando uma secção de caixa central e dois ramos laterais de aço vazado para montagem do conjunto da caixa redutora. Suporta quatro bolsas de ar, quatro batentes verticais separados e dois tirantes de tracção.

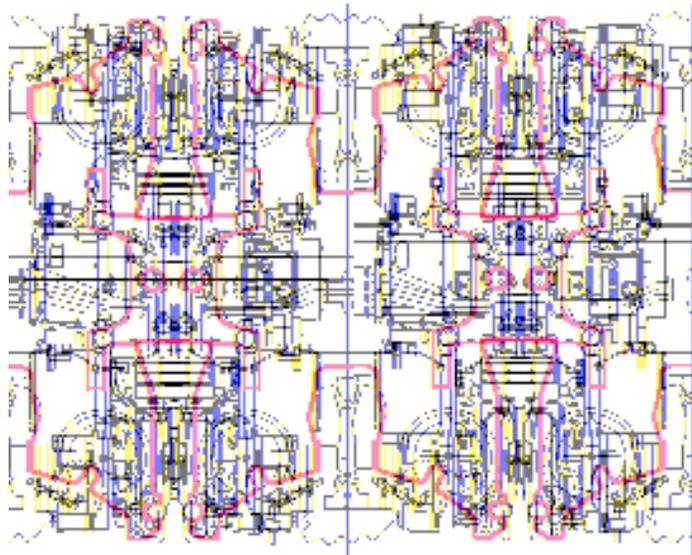


Fig. 8 Estrutura do Bogie (delimitada pela linha a encarnado)

Instalado numa das laterais do Bogie motorizado, está a unidade de geração hidráulica (HPU) para o sistema de frenagem electro-hidráulica. Na lateral oposta do Bogie motorizado encontra-se o grupo de refrigeração dos motores de tracção.

A elasticidade do sistema é conferida pela suspensão primária, que consiste em molas de borracha. A suspensão secundária é constituída por 4 bolsas de ar ligadas pneumaticamente duas a duas na direcção longitudinal. Os dois pares de bolsas de ar estão ligados a uma válvula de equilíbrio e a dois reservatórios. A estrutura do Bogie está de tal maneira desenhada que os reservatórios são parte integrante da estrutura.

A estrutura de suporte do freio electromagnético está aparafusada a cada lateral da estrutura do Bogie.

2.3.2.2 RODAS RESILIENTES

O Bogie tem quatro rodas resilientes independentes, cada uma aparafusada a uma flange na manga de eixo da caixa redutora. A roda tem um aro de borracha resiliente entre o cubo e a coroa.

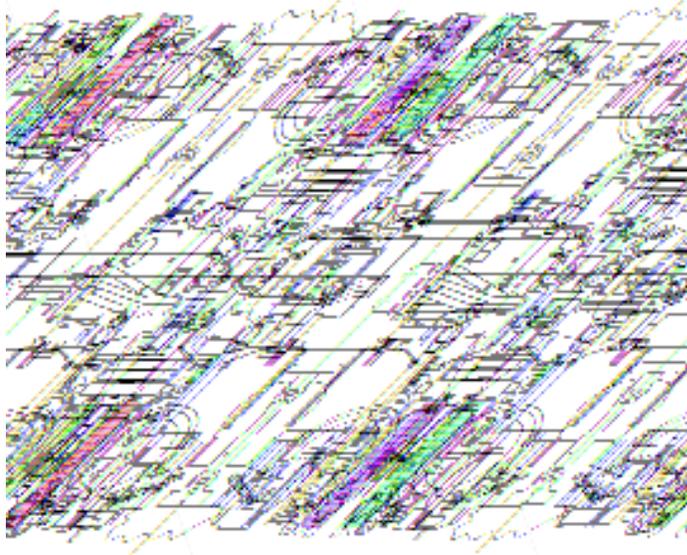


Fig. 9 Localização das rodas resilientes no bogie

A roda (SAB V60, tipo 441) é constituída pelos seguintes componentes (Fig. 10 e Fig. 11):

- Aro em aço grau B4N de acordo com a norma UIC 810-1 edição 81 (3);
- Anel de borracha resiliente do tipo V60 0400 (4);
- Aro em cunha para segurar o anel de borracha resiliente (2);
- Cubo da roda em aço grau C2N com alívio de tensão condição E segundo a norma UIC 812-1 edição 89 (1);
- 14 parafusos (5) e porcas (6) M14 para fixação do cubo da roda, aro, aro em cunha e anel de borracha.

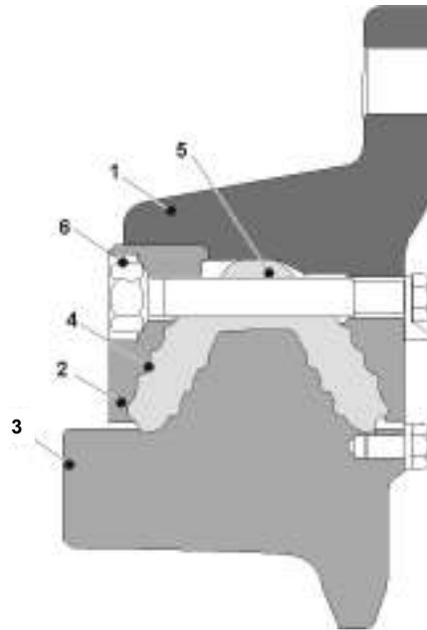


Fig. 10 Seção da roda resiliente



Fig. 11 Pormenores da roda resiliente

A roda é ajustada à manga de eixo da caixa redutora e está fixa ao veio com parafusos M20 e porcas especiais anti-vibrações. A concepção da roda é tal que possibilita que o aro exterior possa ser rectificadado da mesma forma que uma roda sólida, até um máximo de 50 mm de diâmetro (desbaste máximo de 25mm de espessura).

2.3.2.3 SUSPENSÃO PRIMÁRIA

O Bogie é apoiado nas unidades da caixa redutora/caixa de eixo, sendo que cada unidade é ligada ao Bogie através de um braço articulado. A suspensão primária ajusta-se entre o conjunto da caixa redutora e a estrutura do Bogie (Fig. 12).

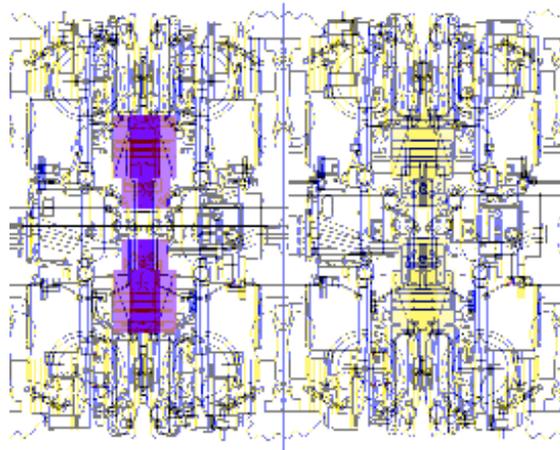


Fig. 12 Localização da suspensão primária no bogie

O conjunto da suspensão primária é complementado por um batente que, integrado com a característica de rigidez da mola, assegura uma deflexão controlada. A suspensão primária é composta pelos seguintes elementos (Fig. 13):

- Mola primária de baixa deformação em borracha (1);
- Conjunto de suporte de sustentação da suspensão primária para ligação com o braço articulado (2);
- Tirante de sustentação da suspensão primária e aro de suporte (3);
- Suporte de ligação à estrutura do Bogie (4).

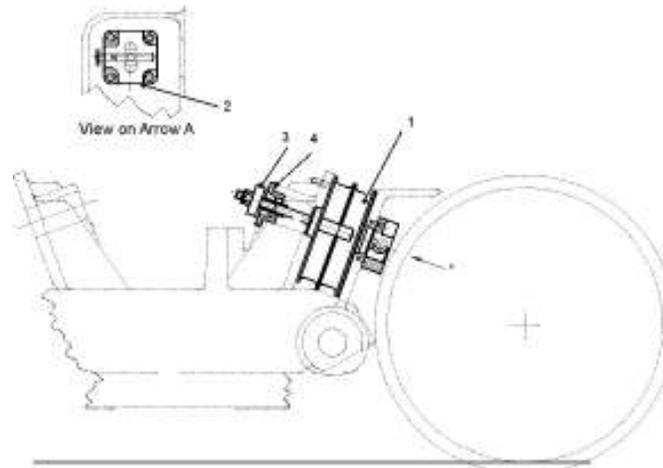


Fig. 13 Disposição da suspensão primária



Fig. 14 Fotografia do bogie onde se podem visualizar as molas de borracha da suspensão primária (a encarnado)

2.3.2.4 SUSPENSÃO SECUNDÁRIA

O conjunto da suspensão secundária é constituído por 2 amortecedores laterais, 4 amortecedores verticais, 4 bolsas de ar e 4 batentes de emergência associados às bolsas de ar, tal como ilustrado na Fig. 15 e na Fig. 16.

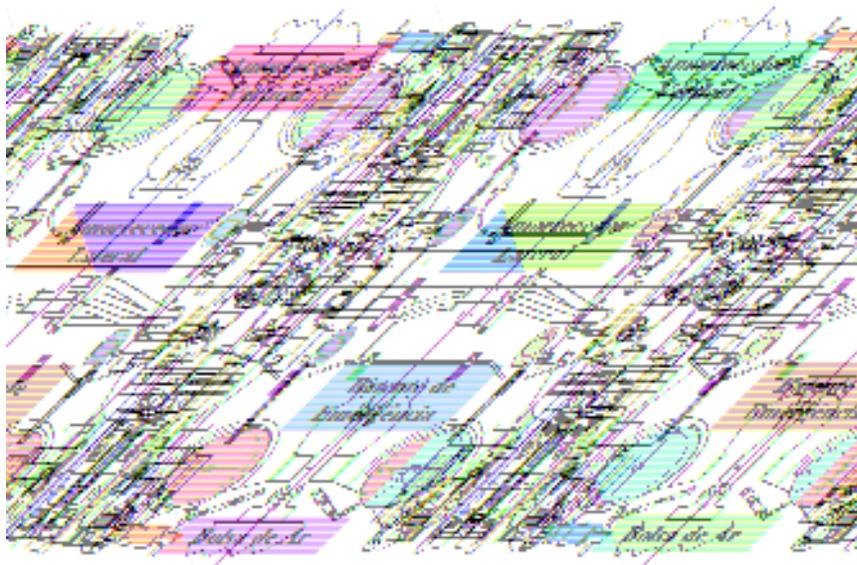


Fig. 15 Localização dos elementos constituintes suspensão secundária no bogie



Fig. 16 Amortecedores vertical (encarnado) e horizontal (azul) e bolsa de ar (laranja)

As bolsas de ar são o elemento principal da suspensão secundária e têm como função manter o veículo a uma altura fixa do carril. Estas são insufladas com ar comprimido cuja pressão é controlada pelo sistema pneumático, dependendo da carga suportada pelo veículo (função do número de passageiros ou da inclinação em curva).

2.3.2.5 TIRANTES DE TRACÇÃO E BATENTES LATERAIS

Os tirantes de tracção (Fig. 17), dois por bogie, estão ligados a cada uma das extremidades do Bogie e à ligação da articulação inferior da caixa. Nas suas extremidades estão montados acoplamentos metaloelásticos para facilitar os movimentos nas paragens e arranques do veículo.

Por forma a limitar o movimento lateral de cada tirante de tracção, estes estão colocados entre dois batentes laterais.

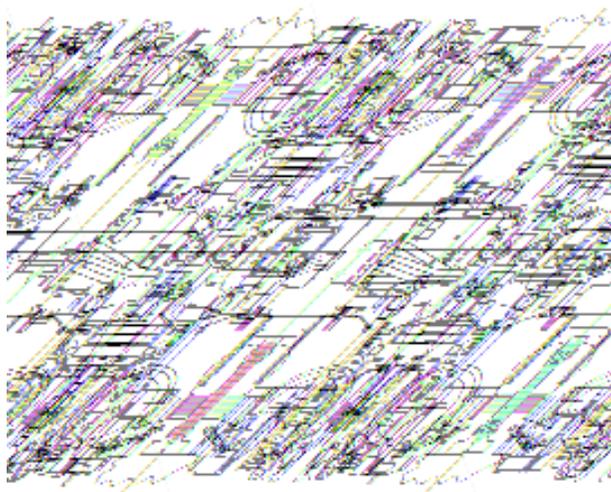


Fig. 17 Localização dos tirantes de tracção (a encarnado) e batentes laterais (a verde) no bogie

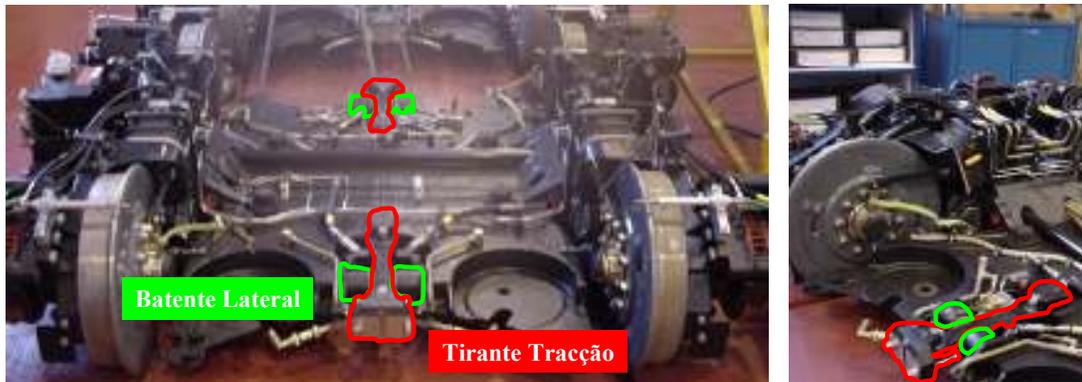


Fig. 18 Fotografias do bogie onde se podem visualizar os batentes laterais e o tirante de tracção

2.3.2.6 LUBRIFICADORES DE VERDUGO

O objectivo do sistema de lubrificação do verdugo é reduzir o desgaste entre a roda e o carril. Este sistema só existe no bogie reboque, e consiste num conjunto de bicos de pulverização para lubrificação do verdugo das rodas resilientes (Fig. 19).

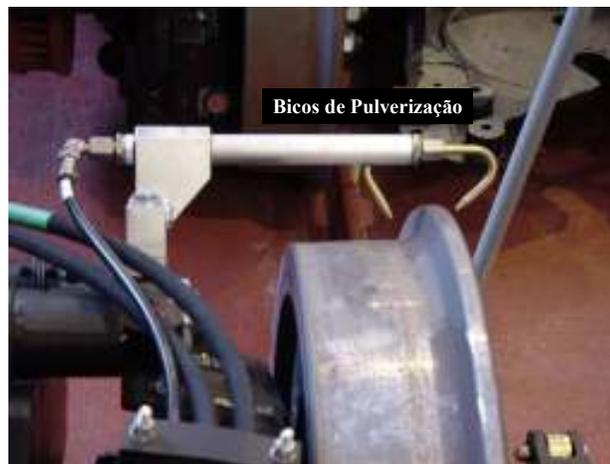


Fig. 19 Fotografia dos bicos de pulverização do lubrificador de verdugo

O sistema de lubrificação de verdugo funciona através do sistema chamado “bicos de pulverização de substância única” usando o sistema TURBOLUB. O sistema de tubagens contém aproximadamente 10% de lubrificante e 90% de ar, possibilitando que uma camada muito fina de lubrificante seja aplicada ao verdugo durante o processo de pulverização.

O sistema de lubrificação (Fig. 20) consiste num depósito, bomba pneumática, válvulas de solenóide, distribuidores TURBOLUB, bicos (Fig. 19) e sistema de controlo.

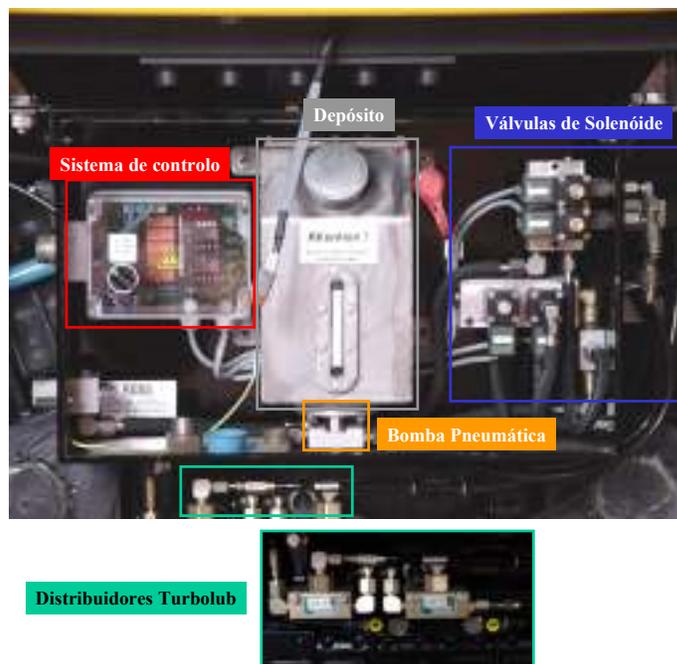


Fig. 20 Sistema de lubrificação

O sistema trabalha com uma pressão de ar de 6 a 10 bar e uma tensão de 24 V contínua.

O depósito é feito em aço e montado em conjunto com uma bomba (denominada SP-PIO), válvulas e controlo numa caixa de protecção, a qual é montada sob o chão do veículo. O depósito pode ser enchido por uma bomba de enchimento através da tampa do tanque ou através de um acoplador especial. A bomba pneumática SP-PIO, instalada no depósito de lubrificante, permite que uma mistura adequada de lubrificante, indicada para lubrificantes que contenham sólidos em suspensão. A capacidade da bomba é de $0,25\text{cm}^3$ por pulsação. A bomba regressa ao seu estado normal através de uma mola logo que a pressão diminui.

A bomba é controlada através de uma válvula de solenóide 3/2. Quando a bomba exerce uma pressão mínima de 3 bar, o êmbolo é actuado, fornecendo lubrificante. Quando a válvula de solenóide fecha, a bomba executa a admissão uma vez que a pressão é removida através dos bicos. O processo de pulverização é controlado separadamente por outra válvula de solenóide 3/2. (isto possibilita pulverizar o lubrificante continuamente no verdugo durante o sinal transmitido pelo computador do veículo à unidade de controlo). Duas válvulas de solenóide adicionais controlam o caudal de lubrificante, dependendo da direcção para a qual o veículo se desloca.

Vindo da bomba, o lubrificante entra no misturador, denominado por OLM, após ter sido sujeito ao retentor de sujidade (para evitar o bloqueio dos distribuidores). Aqui processa-se a mistura do lubrificante com o ar. O lubrificante é distribuído através dos distribuidores TURBOLUB, assegurando que a mistura de ar e lubrificante tem as proporções certas. Um único distribuidor é suficiente para 4 pontos de pulverização.

Os bicos de pulverização, por redução de área, permitem que o lubrificante atinja uma velocidade considerável, assegurando que os efeitos da deslocação do ar devida ao movimento da roda, sejam ultrapassados e o lubrificante seja pulverizado no verdugo de uma forma precisa.

A unidade de lubrificação de verdugo é controlada através do computador do veículo e do gerador de impulsos QMZU. O computador pode emitir três tipos de sinais para a unidade de controlo:

- Curva - +24 Vcc quando o veículo é conduzido em curva e 0 Vcc quando o veículo não é conduzido em curva;
- Velocidade - 0 Vcc quando o veículo está numa paragem, para interromper o processo de lubrificação e +24 Vcc quando o veículo está em movimento;
- Direcção - +24 Vcc direcção cabina A, 0 Vcc direcção cabina G.

O gerador de impulsos QZMU é uma unidade digital que controla o sistema de lubrificação de verdugo em unidades fixas de tempo. O QZMU e os relés são montados numa caixa separada com uma cobertura transparente, dentro da caixa de protecção principal. O controlo tem um comutador de 3 posições para diferentes funções (Fig. 21).



Fig. 21 Sistema de controlo do lubrificador de verdugo

No modo de controlo de curva, o sistema de lubrificação pulveriza lubrificante continuamente no verdugo quando o computador do veículo emite o sinal de curva (i.e., quando o veículo está a circular numa curva). O gerador de impulsos QZMU controla a frequência dos impulsos da bomba durante este processo de pulverização através de uma válvula de solenóide 3/2. Durante um determinado intervalo de tempo, a válvula de solenóide da bomba é aberta e o ar chega à bomba, executando um impulso. A quantidade de lubrificante entregue por este impulso entra nas tubagens e é transportada e pulverizada no verdugo. Este processo volta a repetir-se, ciclicamente, enquanto o computador do veículo (VCU) estiver a emitir o sinal de curva. Quando o veículo está parado, o processo de lubrificação é interrompido, prevenindo-se a pulverização de lubrificante em excesso. Logo que a velocidade do veículo ultrapasse os 3 km/h, o sistema de lubrificação retoma a sua função.

No modo de controlo de tempo, o gerador de impulsos QZMU controla o sistema de lubrificação de verdugo por unidades fixas de tempo, i.e., periódica e sistematicamente. No modo de controlo de teste, o sistema de lubrificação pulveriza lubrificante continuamente no verdugo. Por esse motivo, este modo pode ser usado para inicializar o sistema durante o comissionamento e trabalhos de manutenção.

O processo de lubrificação de ambos os modos de controlo de tempo e de teste é análogo ao do modo de controlo de curva, com a excepção de que nestes modos a lubrificação do verdugo é independente do trajecto a percorrer.

Modo de Controlo	Sinal do Computador do Veículo (VCU)		
	Curva	Velocidade	Direcção
Tempo	-	X	X
Curva	X	X	X
Teste	-	-	X

Tabela 1. Associação entre os sinais e os diferentes modos de controlo (X sinal relevante; - sinal não relevante)

2.3.2.7 MECANISMO DE LIGAÇÃO À TERRA

Cada roda tem um cabo de ligação à terra para fazer o retorno da corrente dos circuitos de tracção para os carris. Evita-se assim que a corrente circule através dos rolamentos das rodas, prevenindo-se um desgaste excessivo e uma rápida degradação dos mesmos.

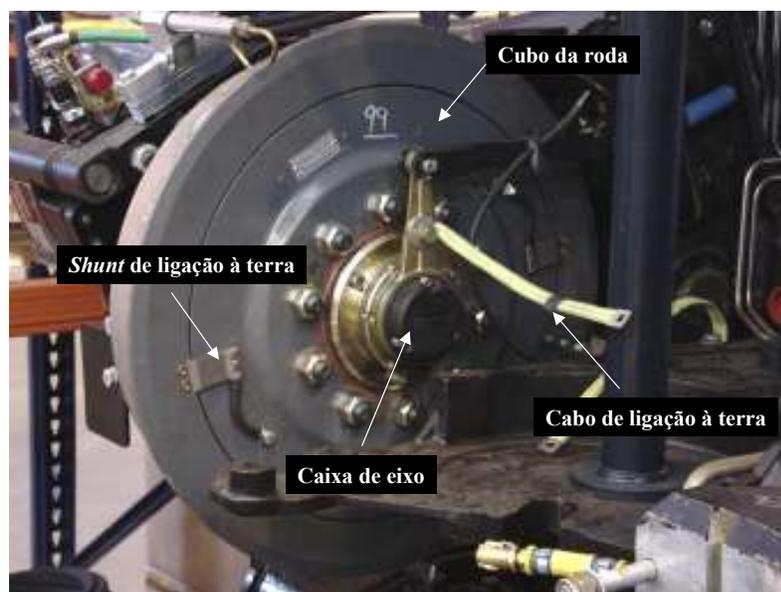


Fig. 22 Vista interior da roda resiliente

O mecanismo de ligação à terra é montado no eixo de cada roda do Bogie e aparafusado à extremidade da caixa de eixo. O conjunto é composto por uma escova de carbono com

uma mola de baixa resistência de contacto e baixo desgaste e é selado contra fugas e poeira de carbono. A linha de corrente é devolvida através de duas ligações à terra por Bogie (retorno de potência) sendo a segurança de ligação à terra feita através de duas ligações de retorno (retorno da bateria - ligações aos pontos equipotenciais da rede de bateria no Bogie reboque).

2.3.2.8 BARRA ANTI-ROLAMENTO

Para prevenir o movimento de rolamento entre o Bogie e a caixa, estão instaladas barras anti-rolamento em ambos os lados do Bogie (Fig. 23). Estas são fixas à caixa através de um rolamento de moente e à estrutura do Bogie através de casquilhos auto-lubrificados.

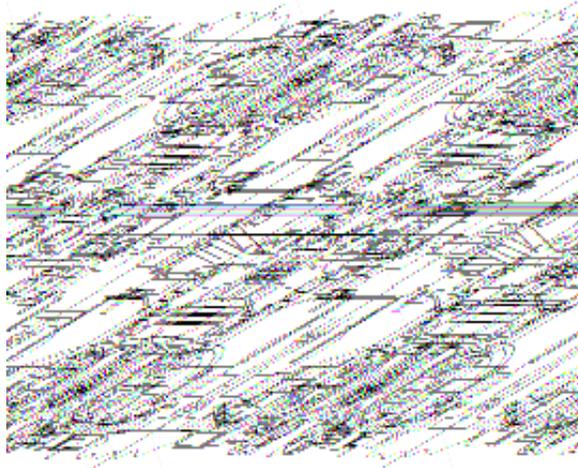


Fig. 23 Localização da barra anti-rolamento no bogie

O conjunto da barra anti-rolamento consiste nos seguintes componentes:

- Uma barra maciça em aço de secção circular que atravessa a estrutura do Bogie transversalmente, suportada em cada extremidade num casquilho. Funciona à torção;
- Um conjunto de ligação vertical que é montado entre a extremidade inferior e o braço da barra anti-rolamento e fixa à caixa através de um rolamento de moente e suporte;
- Um braço que é seguro numa extremidade da barra de torção através de um dispositivo de fecho do tipo Dobikon, sendo o outro extremo seguro através de um rolamento na extremidade inferior do conjunto da ligação vertical.



Fig. 24 Braço e ligação vertical da barra anti-rolamento

2.3.2.9 CAIXA REDUTORA

Existem quatro tipos de configurações de caixas redutoras instaladas nos Bogies dos veículos, nomeadamente:

- Caixa redutora motora lateral direita;
- Caixa redutora motora lateral esquerda;
- Caixa redutora reboque⁵ lateral direita;
- Caixa redutora reboque lateral esquerda.

As caixas acima referidas vão possibilitar a transmissão da carga à estrutura do Bogie através da suspensão primária e de pivots. Elas irão também possibilitar a reacção ao binário de frenagem.

Em adição, as caixas redutoras motoras (Fig. 25) transmitem potência/binário/velocidade e providenciam a transmissão do binário de frenagem em ambos os sentidos de rotação. A relação de transmissão é de 7,65:1.

⁵ O termo caixa redutora aqui utilizado é incorrecto. A sua utilização neste trabalho manteve-se de acordo com a designação utilizada ao longo de todo o Projecto SEM XXI, uma vez que este termo nasce da associação com o Metro de Estrasburgo. Em Estrasburgo os bogies reboques têm efectivamente caixas redutoras no sentido estrito, i.e., têm as caixas, mas não as engrenagens, para que se possa adaptar mais tarde, se for verificado adequado. O Metro do Porto tem apenas um componente estrutural que deveria ser designado de braço articulado, por exemplo. Contudo, tal não foi realizado devido ao estudo do bogie ter estado muito dependente da informação proveniente de Estrasburgo.

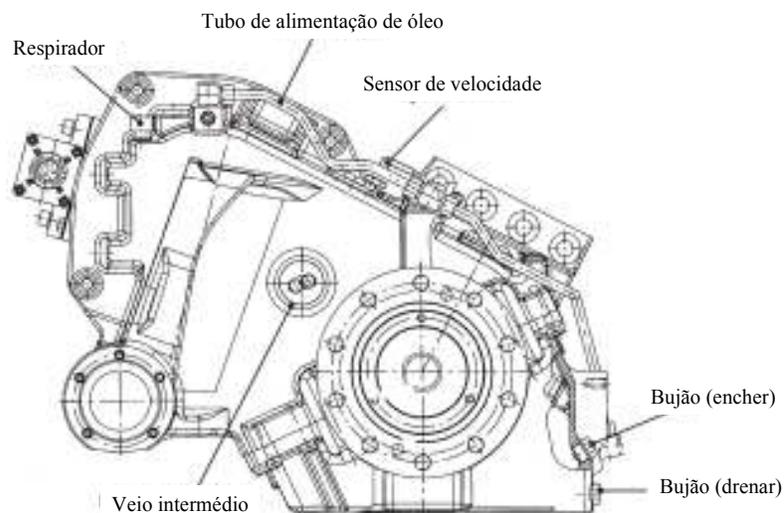


Fig. 25 Caixa redutora motora

A caixa das engrenagens está acoplada ao eixo central, por razões de montagem, e o rebordo da junção é seguro por parafusos especiais de alta resistência. Os discos de freio da unidade de frenagem electro-hidráulica, a roda e o motor estão montados sobre a caixa redutora.

No que diz respeito às caixas redutoras reboque, estas consistem apenas no suporte do veio de saída, roda e unidade de frenagem, excluindo-se o motor, engrenagens intermédias, unidade de bomba e tubagens. São usadas chapas para cobrir o veio de entrada do motor e diâmetro interno do veio intermédio para prevenir a entrada de partículas. Assim, todo o texto que se segue é apenas aplicável às caixas redutoras motoras.

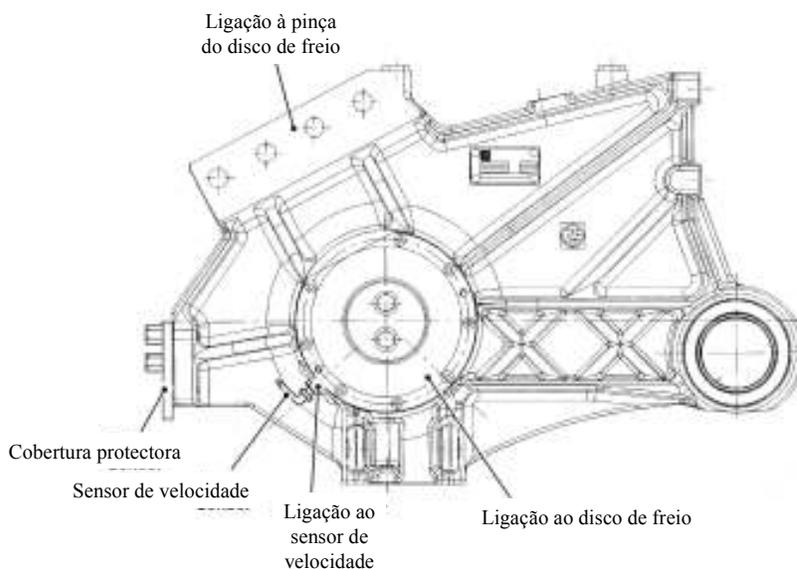


Fig. 26 Caixa redutora reboque

A roda de entrada é montada no veio motor, suportado por dois rolamentos, um dos quais está contido no interior da caixa redutora. As rodas de entrada e saída estão montadas no veio intermédio. A engrenagem de saída é ajustada ao veio do eixo da roda resiliente. As engrenagens têm dentes helicoidais que são endurecidos e rectificados nos seus flancos de forma a conferir uma transmissão suave e uniforme do binário entre o motor e o eixo da roda.

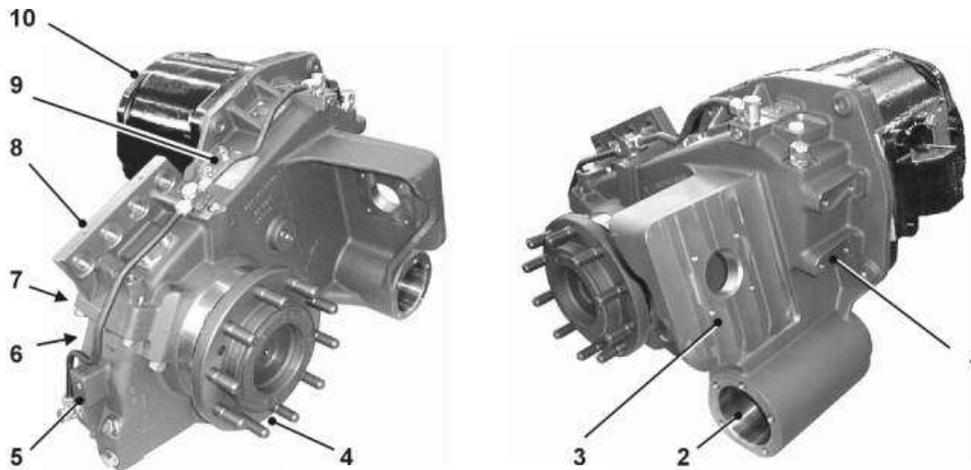
As engrenagens estão dentro de uma caixa de ferro dúctil que serve de membro estrutural, suportando as forças que actuam sobre os rolamentos devidas às cargas das engrenagens. Actua ainda como elemento de reacção ao binário do disco de frenagem e do motor, e da conexão entre a roda e a estrutura do Bogie.

O veio de entrada é suportado por um rolamento de rolos cilíndricos montado na caixa das engrenagens. A caixa redutora é suportada por chumaceiras de roletes cónicos montados directamente no veio do eixo da roda. A engrenagem de entrada e o pinhão de saída são também suportados por chumaceiras de roletes cónicos no veio intermédio.

A vedação dos rolamentos dos veios de entrada e saída é providenciada por uma disposição em labirinto. O vedante, do tipo labirinto, do veio de saída também contém um lábio exterior, projectado para deflectir a água. Cada labirinto tem um dreno de retorno para o colector da caixa redutora. As aberturas do veio intermédio são vedadas com “O” rings.

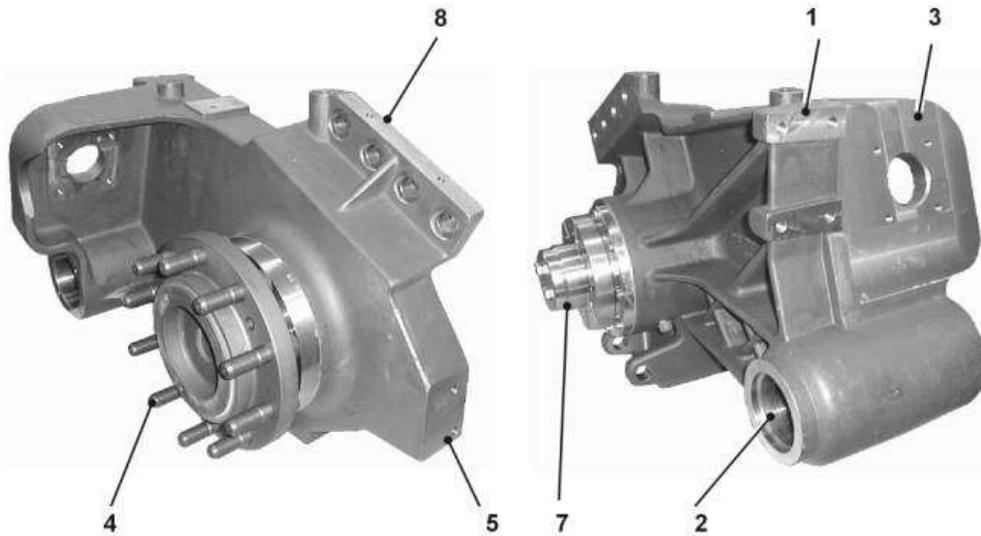
A lubrificação, forçada com características reversíveis, é realizada por uma bomba integral, conduzida pela engrenagem de saída. O óleo é distribuído à volta da caixa redutora até aos rolamentos e engrenagens via tubagens externas. O acoplamento de transferência de fluido é utilizado para encher a caixa redutora. O nível de óleo é controlado através de um visor de vidro. A drenagem de óleo da caixa redutora em intervalos de serviço é proporcionada por um bujão magnético (para retenção de partículas ferro-magnéticas). O respirador é montado no invólucro da caixa para evitar qualquer aumento de pressão dentro da caixa devido a variações de temperatura.

O controlo do motor e do freio são realizados através da utilização de dois sensores de velocidade montados na caixa. Estes medem a velocidade de rotação do veio motor e do veio de saída, respectivamente.



Caixa Redutora Motora

- | | |
|-------------------------------------|-------------------------------------|
| 1 Ligação ao patim electromagnético | 6 Bomba de óleo |
| 2 Ligação à estrutura do bogie | 7 Ligação ao disco de freio |
| 3 Ligação à suspensão primária | 8 Ligação à pinça do freio de disco |
| 4 Ligação ao cubo da roda | 9 Ligação ao sensor de velocidade |
| 5 Ligação à cobertura protectora | 10 Motor de tracção |



Caixa Redutora Reboque

Fig. 27 Fotografia de ambas as caixas redutoras motora e reboque

2.3.2.10 DEFLECTOR DE OBSTÁCULOS E LIMPA-TRILHOS

Para prevenir danos ou descarrilamento devido a obstáculos na pista, são colocados deflectores de obstáculos (Fig. 28) à frente das rodas frontais de cada Bogie das cabinas

de condução. Os deflectores de obstáculos são barras de aço que apresentam alguma elasticidade. Quando o veículo se encontra com rodas novas, o deflector de obstáculos está a 50 mm acima do nível dos carris.



Fig. 28 Deflector de Obstáculos

Os limpa trilhos (Fig. 29) são barras de aço que estão aparafusadas à extremidade frontal da caixa redutora de cada Bogie das cabinas de condução.



Fig. 29 Limpa-trilhos (a verde)

2.3.3 CAIXA

A caixa do veículo Metro do Porto é uma estrutura em viga de alumínio, sendo construída pela ADtranz Inglaterra. Os painéis do veículo são do tipo GRP, aparafusados à estrutura ou articulados e fixos à dobradiça que levanta a saia lateral. As janelas são constituídas a partir de vidro colorido laminado (fumado ou bronzado) e não se abrem. A caixa actua como um agregador estrutural de todos os equipamentos, conferindo resistência mecânica ao veículo. Na Fig. 30 pode-se observar o Metro do Porto em fase de construção, podendo-se observar o esqueleto da caixa numa zona (a da porta) onde ainda não foram

colocados painéis. Pode-se ainda observar que alguns equipamentos estão localizados no tejadilho.



Fig. 30 Lateral do veículo em fase de construção (salão de passageiros, módulo F)

A ligação da caixa ao bogie é estabelecida através de um tirante de tracção, de uma barra anti-rolamento, de amortecedores verticais e através da suspensão secundária (bolsas de ar).

Além do que foi dito, a forma como o veículo está concebido do ponto de vista estrutural, i.e., do ponto de vista da caixa, confere "flexibilidade" ao conjunto quando em marcha. Os módulos do veículo são interligados através de articulações, superiores e inferiores, permitindo uma adequada circunscrição em curva. As articulações existentes e suas localizações no veículo estão representadas na Fig. 31:



- | | | | |
|---|-------------------------|---|----------------------|
|  | Tirante de Panhard |  | Articulação superior |
|  | Tirante com Amortecedor |  | Rótula inferior |
|  | Ligação de Watt | | |

Fig. 31 Tipos de articulações existentes no veículo e suas localizações

No que diz respeito aos tirantes com amortecedor e de Panhard e à ligação de Watt, estes estão têm como função articular os salões de passageiros com os ICM's. A sua representação encontra-se na Fig. 32.

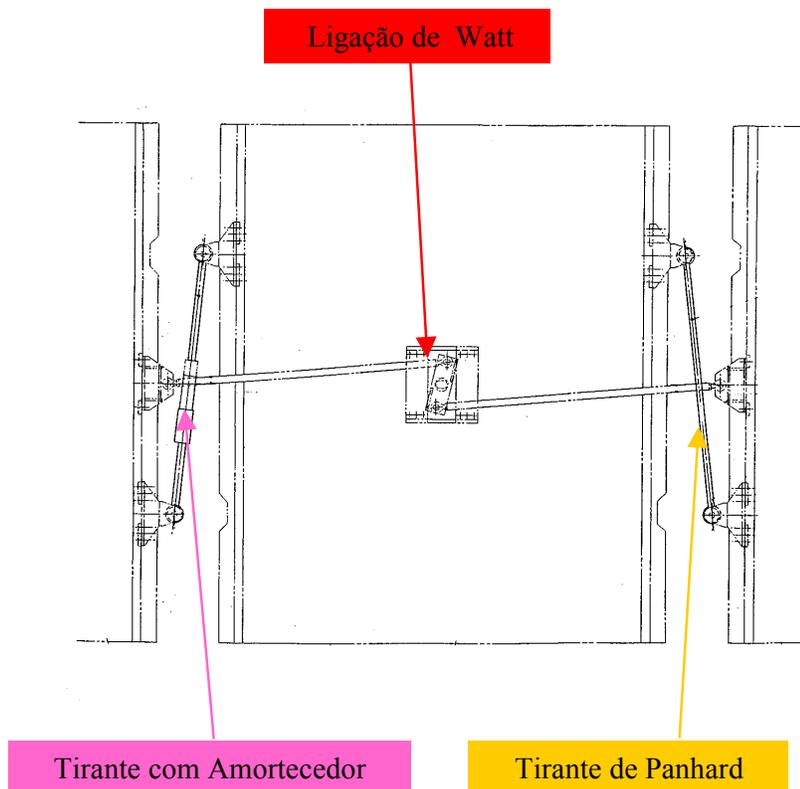


Fig. 32 Articulações entre salão de passageiros e ICM's

O tirante de Panhard estabelece as ligações superiores entre o salão D e o ICM C e entre o salão D e o ICM E. Este mecanismo é usado para eliminar o movimento de rolamento entre dois módulos adjacentes.

No que diz respeito ao tirante com amortecedor, este estabelece as ligações superiores entre o salão F e o ICM E e entre o salão B e o ICM C. É usado para controlar o comportamento dinâmico do veículo, introduzindo um amortecimento no movimento de rolamento entre dois módulos.

A ligação de Watt é um mecanismo que assegura que os salões se mantenham equidistantes dos ICM's, i.e., evita o movimento de galope dos salões relativamente ao ICM adjacente.

Finalmente, têm-se as articulação superior e a rótula inferior (Fig. 32). A primeira, é uma junta articulada que permite apenas o movimento de lacete, estabelecendo a ligação superior entre os salões B e F com as cabinas A e G respectivamente. A segunda, é uma ligação esférica que permite a rotação nos três eixos, estabelecendo a ligação inferior entre todos os módulos consecutivos.

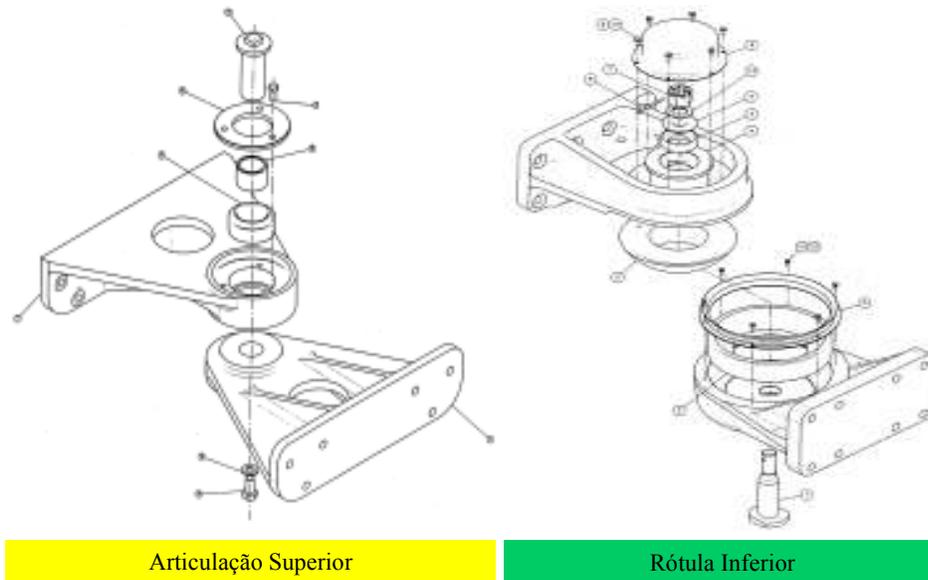


Fig. 33 Articulações superior e inferior

2.3.4 FOLES

Os foles⁶ têm como função permitir os movimentos relativos entre os módulos fornecendo uma passagem segura, confortável e estanque aos passageiros. O veículo Metro do Porto tem seis foles dispostos tal como ilustrado na Fig. 34.



Fig. 34 Localização dos seis foles no veículo

Cada fole é constituído por:

- Fole interno;
- Fole externo;
- Passadiço;
- Dispositivo tensor do fole.

⁶ Também vulgarmente designado pelo termo anglosaxónico *Gangway*.

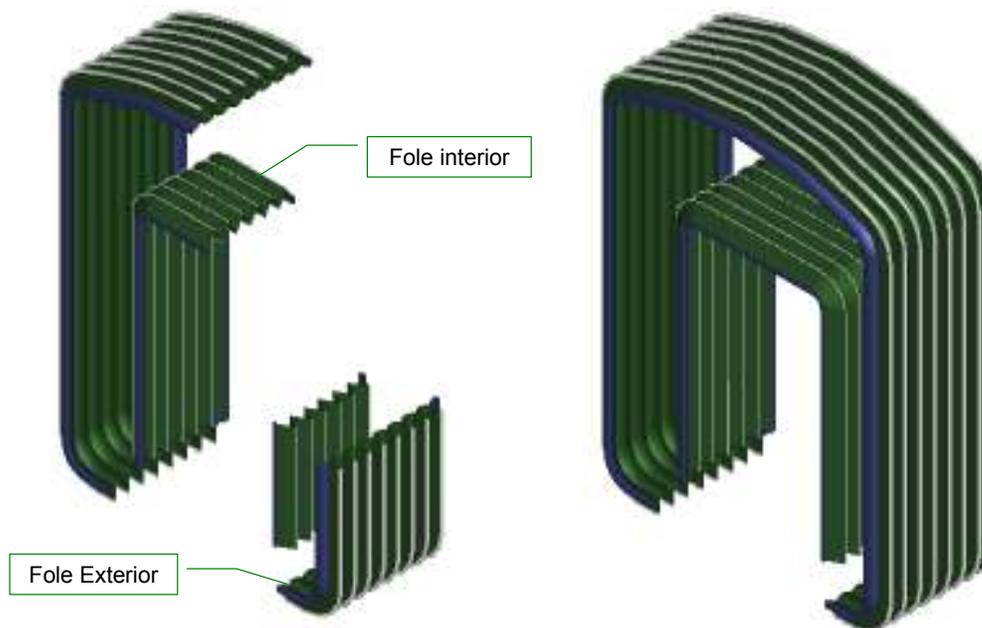


Fig. 35 Foles exterior e interior

Ambos os foles exterior e interior (Fig. 35) têm formato em U e estão montados de forma independente. A ligação entre o fole exterior e o módulo é efectuada por um sistema de fixação constituído por um cabo de aço inoxidável fixo ao fole e uma estrutura de fixação na caixa. Nas extremidades do cabo estão os dispositivos tensores do fole (Fig. 36).

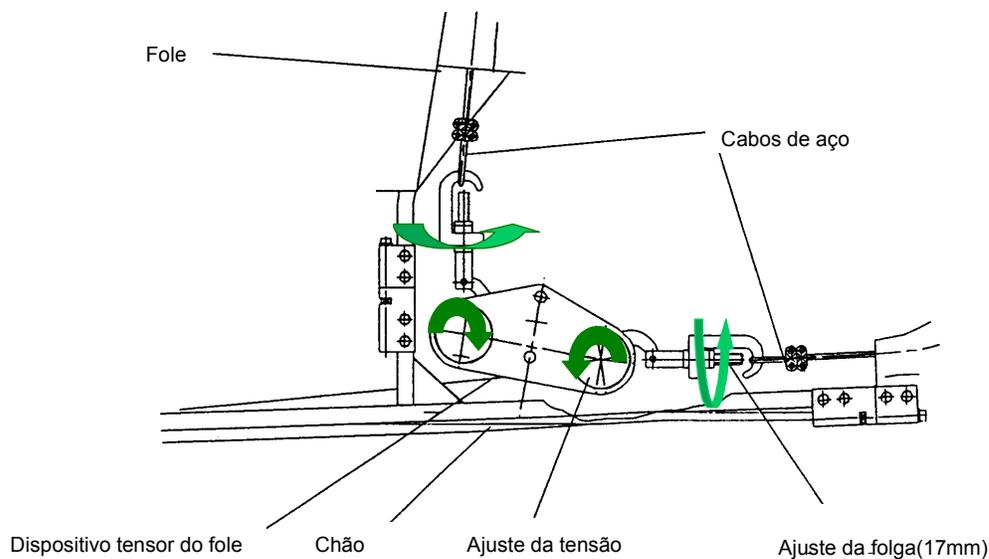


Fig. 36 Dispositivo tensor do fole

O fole interno, este tem dispositivos tensores do fole (Fig. 36) de modo a fixar e selar o fole ao módulo. No lado interior existe uma estrutura em alumínio e em borracha, de forma tubular, cuja função é permitir a vedação entre o fole e a estrutura de fixação.

No que diz respeito ao passadiço (Fig. 37), este consiste numa plataforma articulada, que estabelece a ligação entre os módulos.

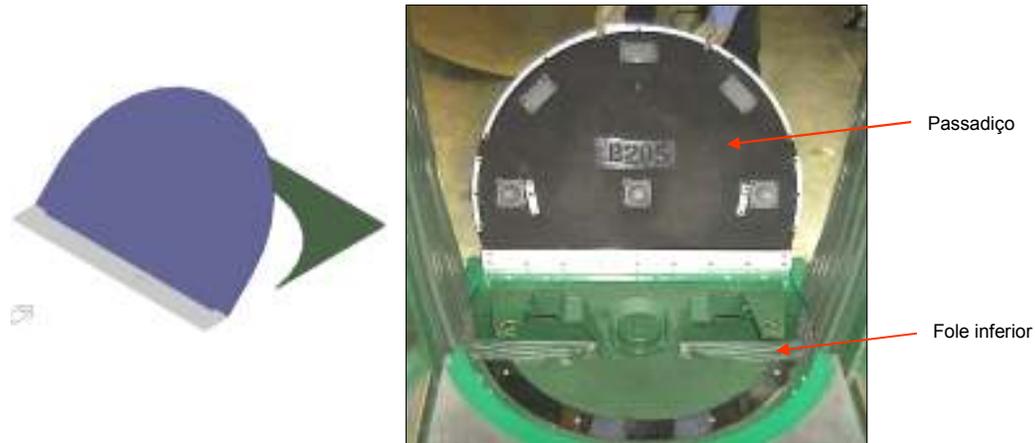


Fig. 37 Aspecto geral do passadiço (aberto)

2.3.5 TRACÇÃO

Os sistemas responsáveis pela tracção ou propulsão estão intrinsecamente interligados com o bogie e captação de energia. A tracção do veículo é proporcionada pelos 3 bogies motores. A força de tracção de cada bogie motorizado é fornecida por quatro motores (Fig. 38) trifásicos de corrente alterna.

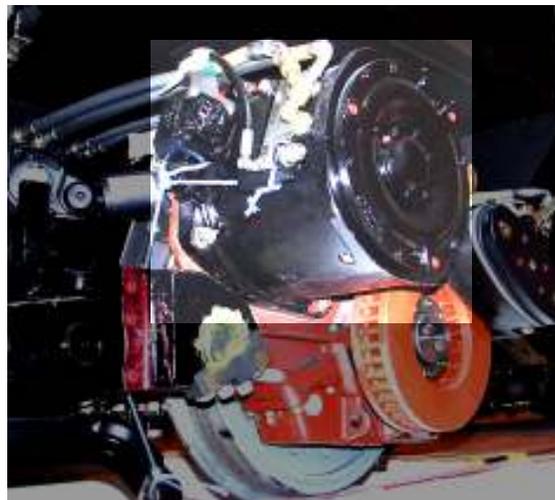


Fig. 38 Motor de tracção

Os motores do mesmo lado do bogie são alimentados em paralelo usando a mesma saída do conversor de tracção. Os conversores de tracção (Fig. 39), localizados 1 no módulo B e 2 no módulo F (Fig. 40), transformam a corrente contínua de 750 V captada pelo pantógrafo através da catenária numa corrente alterna trifásica que pode variar entre os 0 e 523 V para distribuição pelos motores de tracção (Fig. 41).



Fig. 39 Converter de tracção

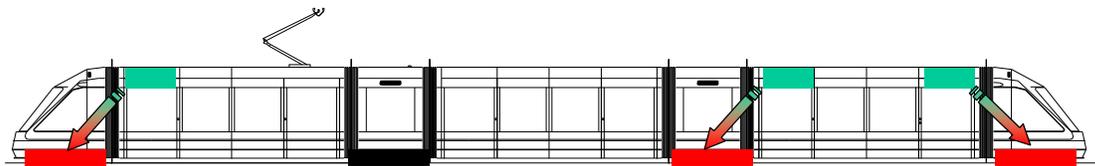


Fig. 40 Localização dos conversores de tracção no veículo (verde) e associação com os bogies motores (encarnado)

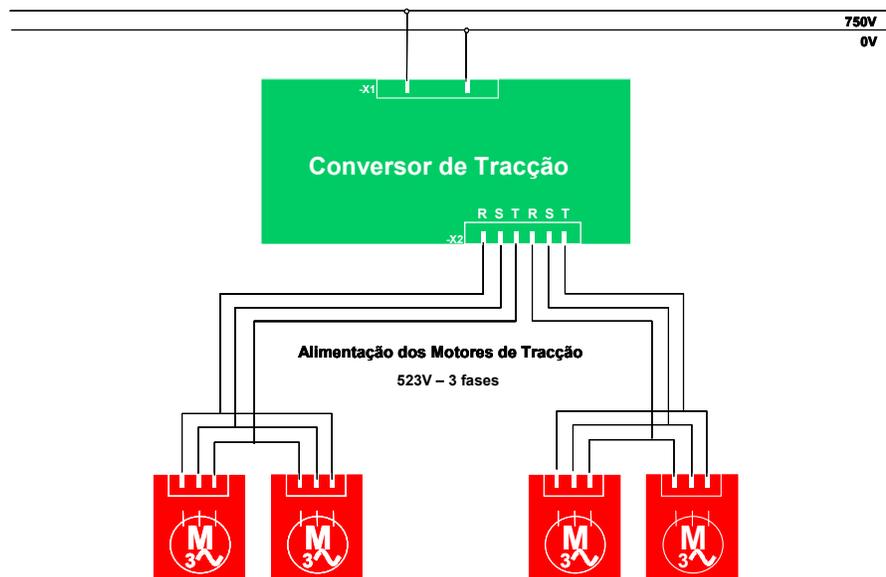


Fig. 41 Circuito esquemático de alimentação dos motores de tracção

O arrefecimento dos motores de tracção é efectuado através de um circuito de refrigeração (Fig. 42) cujo fluido consiste em glicol em solução aquosa. O sistema de refrigeração é constituído por um motor e uma bomba, tanque de expansão, indicador de nível de água, radiador, ventilador, termostato e válvula de segurança.



Fig. 42 Grupo de refrigeração dos motores de tracção e tubagens de distribuição do fluido refrigerante

Toda a informação relativa a sinais de controlo do veículo e portanto que afecte os motores de tracção, sistema de frenagem e sistema de refrigeração dos motores de tracção, é processada pelas funções de diagnóstico do conversor de tracção e da lógica do veículo (Fig. 43).

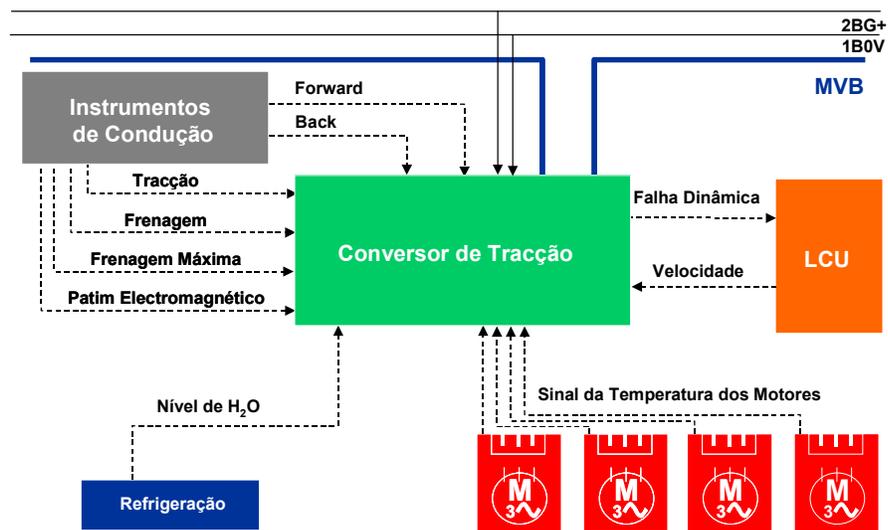


Fig. 43 Conversor de tracção: interfaces e sinais de controlo

2.3.6 FRENAGEM

O sistema de frenagem tem como objectivos reduzir a velocidade do veículo, sempre que as condições de serviço o justifiquem, ou imobilizar o veículo em situações de serviço ou de emergência, de uma forma eficiente e segura para os passageiros.

O veículo Metro do Porto está equipado com três tipos distintos de frenagem (Fig. 44 e Fig. 45):

- **Frenagem Electrohidráulica** (Fig. 46)- Discos de frenagem são actuados por pinças hidráulicas, controladas por uma unidade de comando hidráulico (HPU) e por uma unidade de controlo local (LCU). Por questões de segurança (nomeadamente no que diz respeito a fugas de óleo), a actuação dos discos é proporcionada por uma mola. A força hidráulica contraria a força da mola aliviando a pressão das pinças sobre os discos. Desta forma, no caso da ocorrência de fugas de óleo, o veículo será automaticamente imobilizado
- **Frenagem Electrodinâmica** - Os motores de tracção funcionam como geradores de um binário resistente
- **Frenagem Electromagnética** (Fig. 47) - Acção de um patim (electromagnético) sobre o carril.

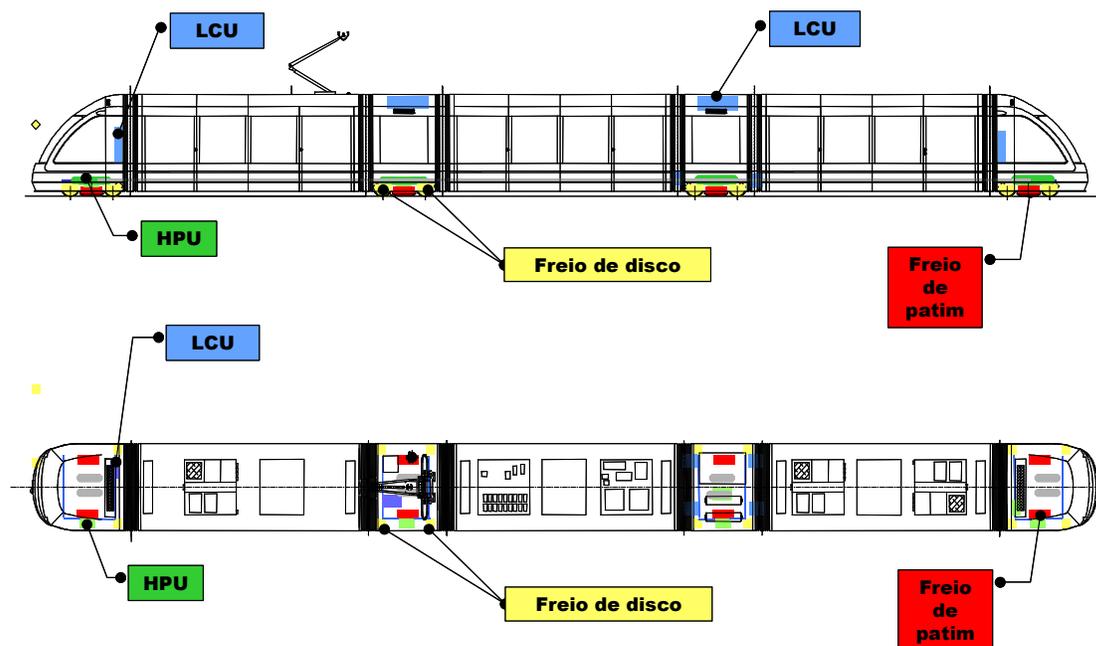


Fig. 44 Configuração do sistema de frenagem ao longo do veículo

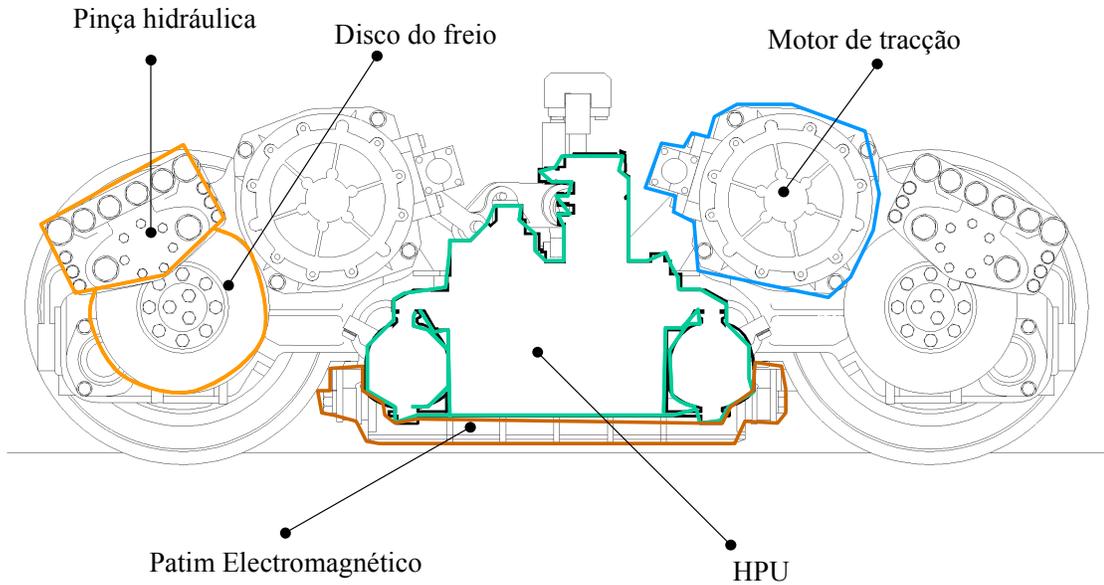


Fig. 45 Localização dos diferentes tipos de frenagem no bogie



Fig. 46 Frenagem electro-hidráulica

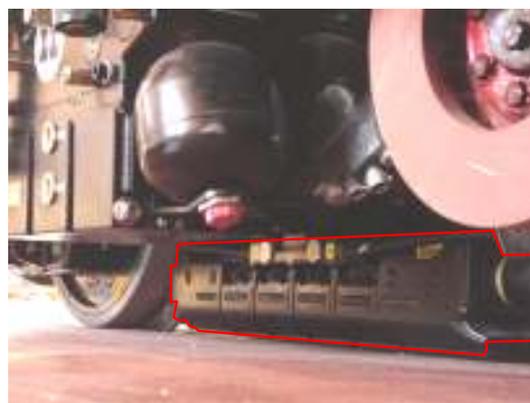


Fig. 47 Patim electromagnético

A filosofia de frenagem do veículo apresenta prioridade do comando de frenagem sobre o comando de tração. Existem dois regimes de frenagem definidos: normal e degradado.

O regime de frenagem normal é aquele que ocorre durante a operação normal do veículo, enquanto que o regime de frenagem degradado ocorre quando sucede uma falha no sistema de frenagem que requer o isolamento do equipamento. Em resultado deste isolamento, o veículo opera com velocidade reduzida.

No regime de frenagem normal são ainda considerados cinco modos de frenagem:

- Frenagem de serviço - Proporciona uma desaceleração do veículo, durante a operação normal deste, através da actuação conjunta das frenagens electrodinâmica e electrohidráulica. A intensidade da força de frenagem é controlada manualmente pelo condutor através do manípulo, havendo no entanto dependência do peso de carga do veículo.
- Frenagem de emergência - É conseguida através da actuação de todos os três tipos de freios: electrodinâmico, electrohidráulico e electromagnético. O modo de frenagem de emergência é activado automaticamente assim que o anel de segurança⁷ se encontrar na posição aberta, ou manualmente através da colocação do manípulo de frenagem na posição extrema. Durante a frenagem de emergência o sistema de antipatinagem encontra-se operacional.
- Frenagem de segurança ou de socorro - Tem como objectivo imobilizar o veículo, numa distância razoável, em caso de falha da frenagem de serviço. Neste modo são utilizadas as frenagens do tipo electrohidráulico e electromagnético. Durante a frenagem de segurança, o sistema de antipatinagem encontra-se operacional. O modo de frenagem de segurança é activado através da actuação de um botão em forma de cogumelo existente na mesa de condução. Quando as frenagens de emergência e segurança forem activadas em simultâneo, é accionado um alarme sonoro que cessará apenas quando o veículo se encontrar parado.
- Frenagem de imobilização ou de estacionamento - A frenagem de imobilização mantém o veículo imóvel enquanto estiver numa estação, sendo conseguida através da aplicação da frenagem de serviço com uma intensidade pré-definida. Assim que o veículo atinja velocidade nula, o modo de frenagem de serviço passa a modo de frenagem de imobilização.
- Frenagem de parque - A frenagem de parque garante a imobilização do veículo até uma inclinação de 8% com uma carga 20% superior à máxima admissível por período de tempo indefinido. É conseguida com a actuação do freio electrohidráulico através da força de uma mola.

A Tabela 2 ilustra a conjunção dos tipos e dos modos de frenagem.

⁷ Ao longo do veículo existem cabos eléctricos dedicados designados por anéis de segurança. Um anel de segurança entra em acção perante um sinal originário das balizas magnéticas instaladas ao longo da via, ou ainda, por pedido expresso do condutor.

Modo de Serviço				
Modo de Emergência				
Modo de Estacionamento				
Modo de Paragem				

Tabela 2. Relação entre os modos e tipos de frenagem

2.3.7 CONTROLO DO VEÍCULO

O sistema de controlo do veículo - lógica do veículo (LV) - baseia-se no sistema MITRAC, é a parte cerebral do veículo e tem como função controlar os diversos periféricos existentes ao longo do veículo. De entre os equipamentos que o constituem, salientam-se o monitor IDU e os hardwares DX, BX, BC e a unidade de controlo do veículo VCU (Fig. 48).

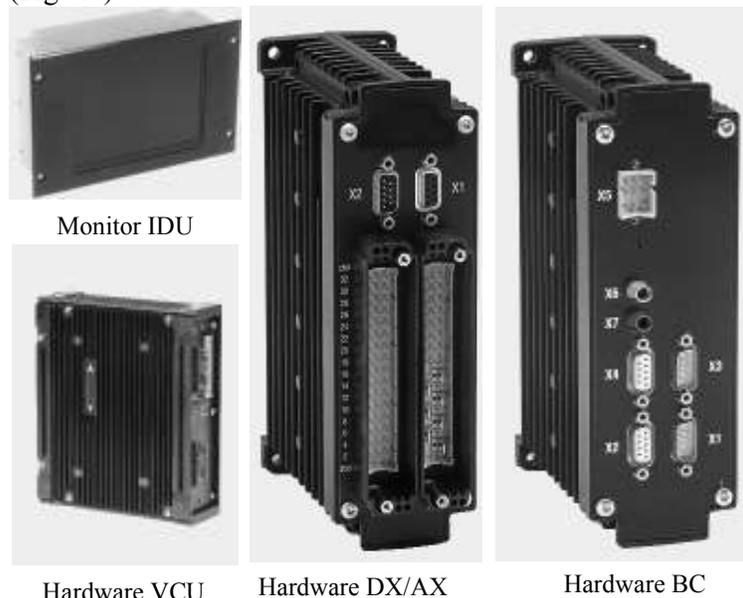


Fig. 48 Principais componentes do sistema de Controlo do Veículo

2.3.8 PNEUMÁTICO

O sistema pneumático tem como função alimentar com ar comprimido os seguintes sistemas:

- Suspensão secundária (bolsas de ar);
- engate.

A Unidade de Produção de Ar (APU), da marca SAB WACO modelo C16-T1, é constituída por um compressor refrigerado a óleo por intermédio de um ventilador (Fig. 49), estando situada no tejadilho do módulo E.

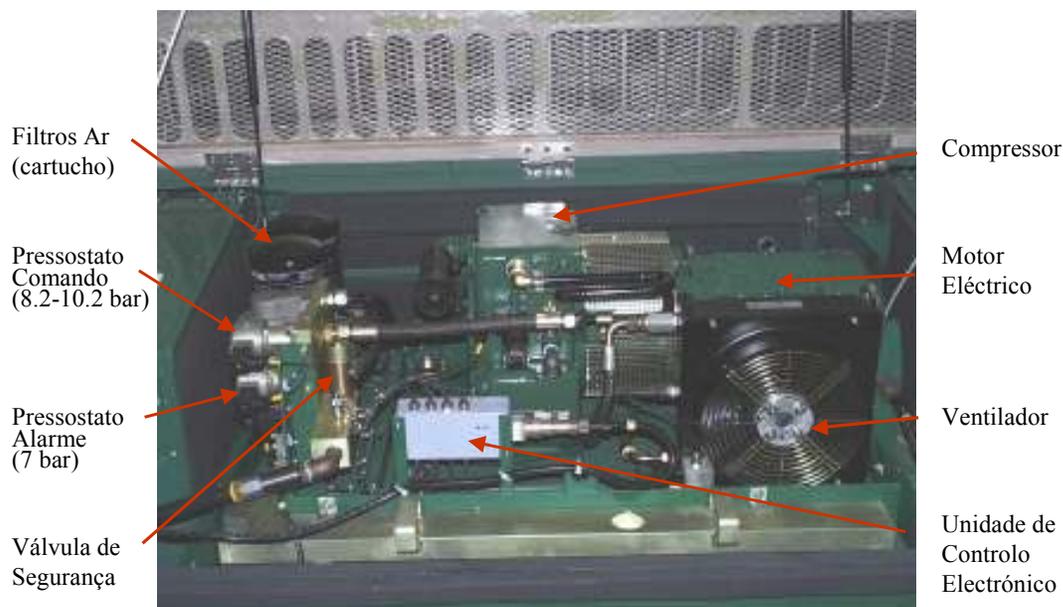


Fig. 49 Principais componentes da unidade de produção de ar (APU)

A APU tem um sistema electrónico de comando controlado pelos sinais emitidos por uma válvula de controlo de pressão que mantém o funcionamento do compressor dentro de determinados parâmetros de pressão.

Para além dos sistemas para os quais a alimentação de ar comprimido é requerida, existe um equipamento, denominado de areeiro (Fig. 50), que também requer o funcionamento do sistema pneumático. Os areeiros são usados para controlo da patinagem das rodas, ejectando areia em direcção ao carril a jusante das rodas, quando é detectada patinagem pelos sensores de velocidade.



Fig. 50 Areeiro da cabina

Existem areeiros dedicados a todas as rodas, com excepção das rodas traseiras dos bogies situados nas cabinas. Os ejectores são abastecidos por depósitos de areia e funcionam através do princípio de Venturi em que a areia é aspirada por efeito de uma depressão sendo depositada no carril por intermédio de um tubo flexível.

O sistema pneumático inclui ainda um conjunto de válvulas particularmente importantes:

- As válvulas niveladoras admitem ou expõem ar das bolsas de ar da suspensão secundária, controlando a distância do veículo ao solo durante o percurso, a qual se pretende seja constante. Para compensar qualquer diferença de pressão entre as bolsas de ar direita e esquerda existe uma válvula de equilíbrio diferencial de duas vias.
- A medição da carga é efectuada por uma válvula de medição de peso de duas entradas (cada entrada está ligada a um par lateral de bolsas de ar). O valor médio de pressão das duas bolsas de ar, medido através do escape da válvula, é transmitido à Unidade de Controlo do Veículo (VCU) por um transdutor de pressão, de maneira a que seja determinado com exactidão o esforço de frenagem a aplicar.

2.3.9 CAPTAÇÃO DE ENERGIA

O sistema de captação de energia consiste num pantógrafo de braço simples articulado (Fig. 51), da marca Schunk, e que está situado no tejadilho do salão de passageiros (módulo B) (Fig. 52).



Fig. 51 Pantógrafo de braço articulado simples (recolhido)

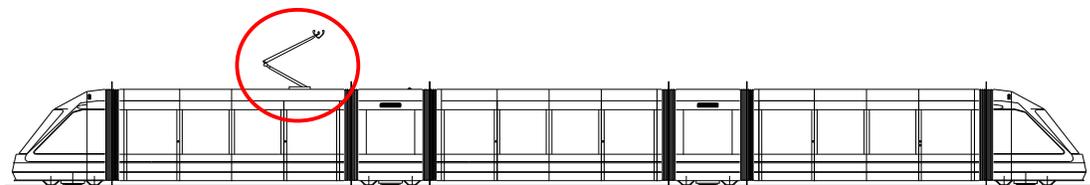


Fig. 52 Localização do Pantógrafo no veículo

O sistema de captação de energia tem duas funções fundamentais:

- Captar a energia eléctrica proveniente da catenária e distribuí-la pelos vários conversores do veículo (Fig. 53);
- Devolver a energia eléctrica às subestações quando o veículo usa a frenagem regenerativa. Esta característica permite poupar milhares de contos por ano.

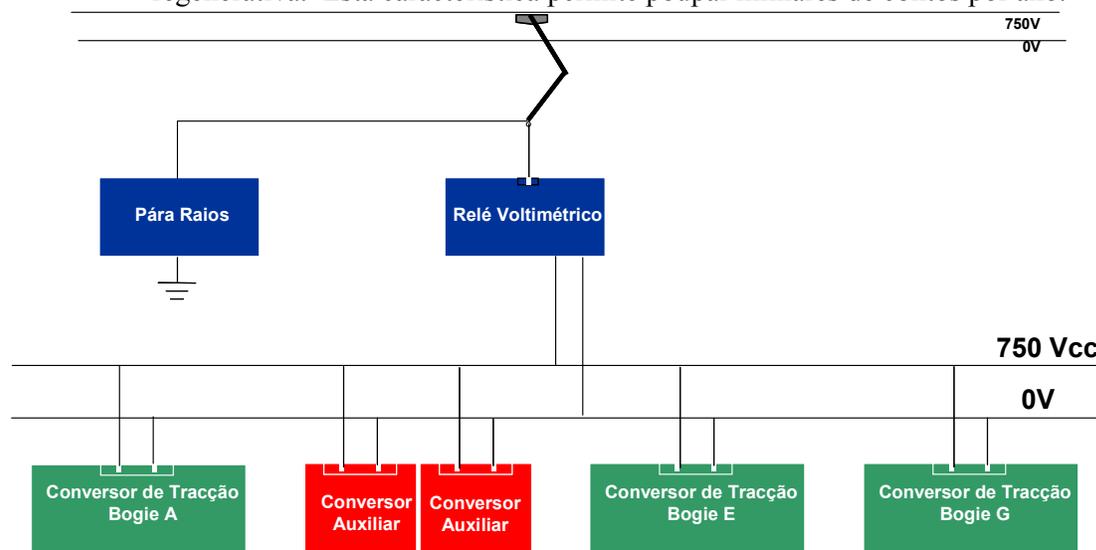


Fig. 53 Rede de distribuição da energia eléctrica captada pelo Pantógrafo

O órgão principal é a canoa, que suporta escovas em carbono, e que está em contacto permanente com a catenária durante o funcionamento do veículo. O pantógrafo está ainda munido de diversos componentes que proporcionam a suspensão, accionamento e pressão de contacto com a catenária, entre outros.

2.3.10 AUXILIARES

Os sistemas auxiliares têm como função transformar a energia eléctrica disponível, distribuindo-a para as várias cargas do veículo (com excepção da tracção) e proporcionar ao condutor, o controlo e operação do veículo. Assim, destacam-se os seguintes sistemas constituintes dos sistemas auxiliares:

- Instrumentos de condução;

- Conversor Auxiliar e Baterias;
- Sistema de Iluminação.

2.3.10.1 INSTRUMENTOS DE CONDUÇÃO

Existem duas cabinas de condução situadas em ambas as extremidades do veículo (cabins A e G) (Fig. 54).

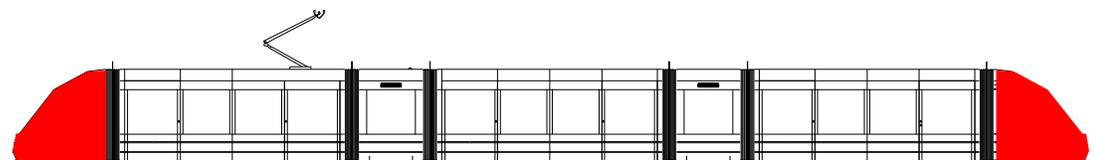


Fig. 54 Localização das cabinas de condução no veículo

Sendo o centro de controlo do veículo, o condutor tem à sua disposição os dispositivos necessários para conduzir o veículo, controlar o funcionamento das portas, dispositivos de segurança e frenagem de emergência. Na Fig. 55 pode-se ver a mesa de condução, constituída por 6 painéis independentes.

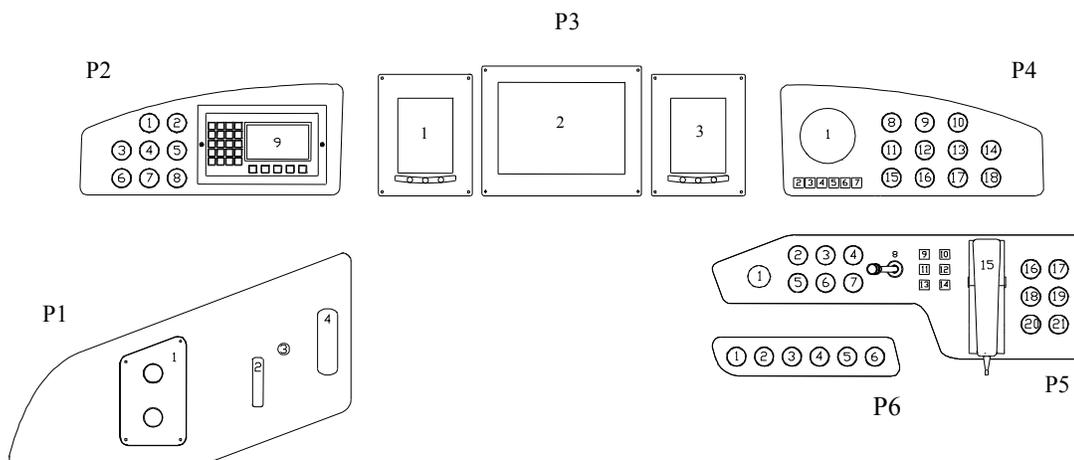


Fig. 55 Esquema da mesa de condução

2.3.10.2 CONVERSOR AUXILIAR E BATERIAS

O conversor auxiliar (Fig. 56) localiza-se no tejadilho do módulo D originando duas linhas de média tensão, trifásica e monofásica, de 380 Vca e uma linha de baixa tensão. Cada grupo conversor fornece alimentação de forma redundante, gerando a alimentação de saída a partir da tensão de linha nominal de 750Vcc, sendo completamente autónomos, quer do ponto de vista do sistema de refrigeração (por circulação de ar), quer electricamente. Existe ainda um conjunto de baterias (Fig. 57) que fornecem uma tensão

de 24 Vcc. O carregador de baterias está localizado dentro do conversor auxiliar e é alimentado pela linha de baixa tensão.



Fig. 56 Conversor Auxiliar



Fig. 57 Baterias

As linhas de distribuição do conversor auxiliar são utilizadas para alimentar os seguintes equipamentos:

- Linha de média tensão trifásica:
 - Sistema de aquecimento, ventilação e ar condicionado (AVAC);
 - Compressor de ar do sistema pneumático;
- Linha de média tensão monofásica:
 - Sistema de refrigeração dos conversores;
 - Sistema de refrigeração dos motores de tracção.

No que diz respeito às baterias, estas originam quatro linhas de tensão com as seguintes denominações:

- Alimentação do Patim Electromagnético;
- Alimentação Principal;
- Alimentação Permanente:
 - Habilitação das cabinas A e G;
 - Portas para acesso de Serviço;
 - Controlo das luzes sinalizadoras;
 - Controlo das portas;
- Alimentação Auxiliar:
 - Sensores de bloqueio de freio;
 - Luzes Exteriores das Cabinas A e G;
 - Luzes de paragem, de marcha-a-trás e de nevoeiro;
 - Libertação dos freios hidráulicos dos Bogies;
 - Painéis áudio;
 - engate para alimentação de outro veículo;
 - Alimentação dos conversores;
 - Rádio de Voz;
 - Unidade de anúncio ao passageiro (PA);

2.3.10.3 SISTEMA DE ILUMINAÇÃO

A iluminação interior (Fig. 58) dos salões e cabinas permite uma boa visibilidade por parte dos passageiros e do condutor, no interior do veículo, em condições de pouca luminosidade exterior ou em períodos de operação nocturna. São utilizadas lâmpadas fluorescentes de 900 mm de comprimento.

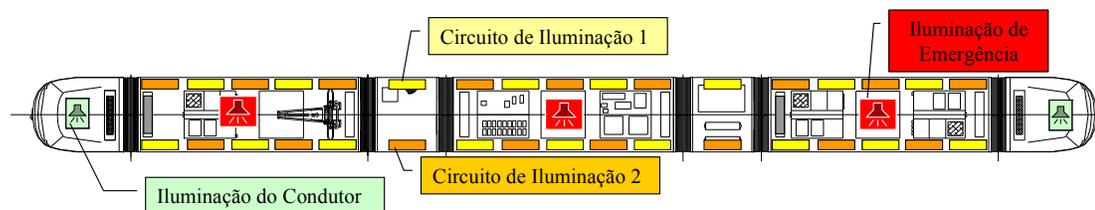


Fig. 58 Distribuição do sistema de iluminação ao longo do veículo

Nos salões de passageiros existe ainda iluminação de emergência (que representa 30% da iluminação total do veículo).

No que diz respeito ao sistema de iluminação exterior (Fig. 59), este é constituído pelos seguintes componentes:

- Faróis de iluminação dianteira;
- Luzes de marcha atrás;
- Luzes de paragem;
- Luzes de nevoeiro;
- Luzes de sinalização lateral;
- Luzes de mudança de direcção.



Fig. 59 Sistema de iluminação exterior do veículo metro do porto

2.3.11 PORTAS

O acesso dos passageiros aos salões é realizado através de portas, fornecidas pela FAIVELEY, situadas na lateral do veículo. Estas são de folha única, do tipo *sliding-plug*. No total existem 12 portas dispostas ao longo do veículo, 6 por lateral, 4 por salão (Fig. 60).

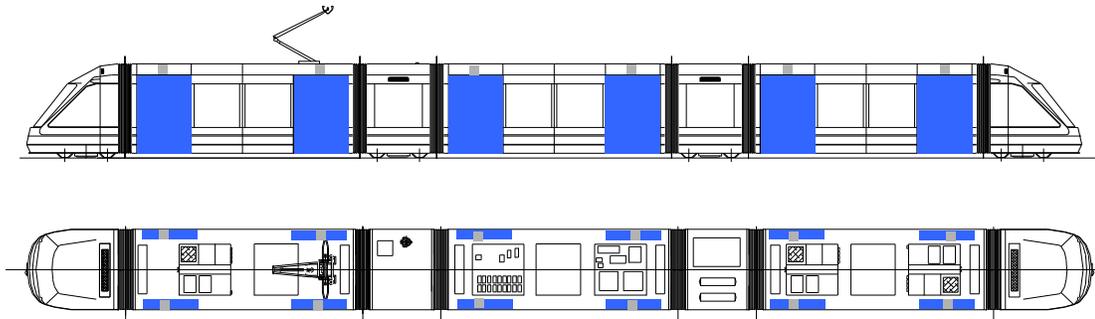


Fig. 60 Disposição das portas ao longo do veículo

O mecanismo de funcionamento da porta implica um movimento de translação na direcção transversal ao veículo, seguido de um movimento de translação na direcção longitudinal, aquando da abertura das portas. Durante o fecho, a operação é a inversa.

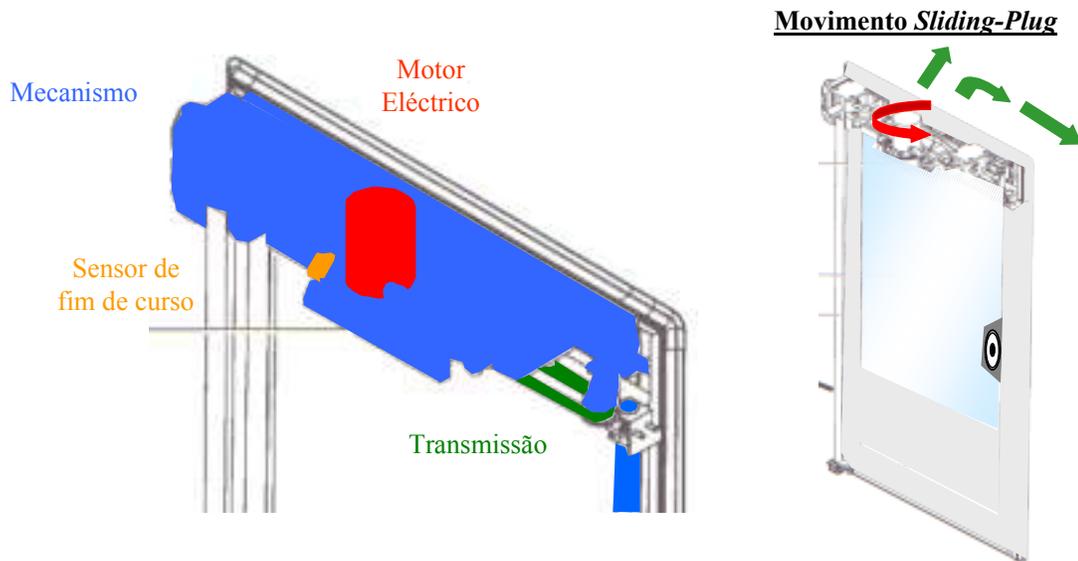


Fig. 61 Sistema mecânico de funcionamento das portas

Na Fig. 61 pode-se visualizar este tipo de mecanismo em funcionamento, discretizando-se os seguintes movimentos (durante a abertura da porta):

- Movimento de abertura para o exterior (*plug*)⁸ - O movimento de avanço da porta é realizado através de um sistema de bielas e por guias superiores; Movimento de abertura lateral (*sliding*) - Efectuada pelo movimento do Rotor e por umas calhas laterais.

⁸ Na realidade, o movimento de abertura é o *unplug*, sendo o de fecho o *plug*.

2.3.12 AQUECIMENTO, VENTILAÇÃO E AR CONDICIONADO (AVAC)

A unidade de AVAC fornecida pela MERAK foi concebida por forma a realizar as funções de ventilação, aquecimento e arrefecimento do interior do veículo do metro do porto.

O veículo é constituído por dois sistemas distintos de AVAC: um dedicado às cabinas de condução e outro aos salões de passageiros (Fig. 62).

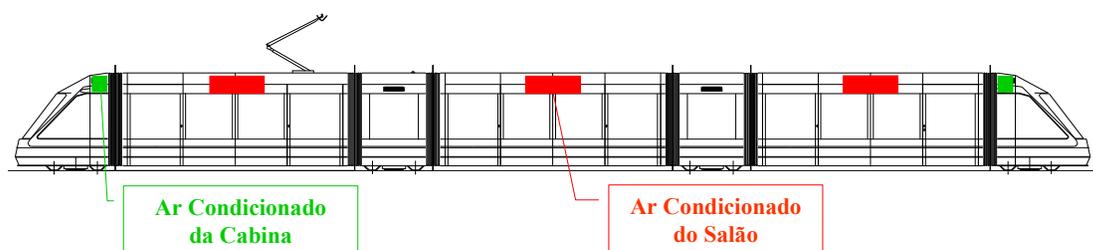


Fig. 62 Distribuição do sistema de AVAC ao longo do veículo

2.3.12.1 SISTEMA DE AVAC NO SALÃO DE PASSAGEIROS

O sistema de HVAC no salão de passageiros, consiste em duas unidades de ar condicionado situadas em cada um dos salões de passageiros. O bloco de HVAC do salão está situada no tejadilho do veículo, e é constituída por uma estrutura em monobloco (Fig. 63), dividida internamente em duas zonas: evaporador e condensador. A unidade de HVAC funciona com o fluido refrigerante HFC R-407C, que não é nocivo à camada de ozono.



Fig. 63 Bloco de AVAC do salão de passageiros

A zona do evaporador tem como principal função, a insuflação de ar tratado no salão. No modo de arrefecimento, o ar é insuflado no salão por acção de dois ventiladores. Por meio destes o ar atravessa a serpentina do evaporador, onde existe uma troca de calor do

ar para o refrigerante (pois este encontra-se a temperatura inferior ao ar) implicando uma diminuição da temperatura do ar que posteriormente é insuflado no interior do veículo.

No modo de aquecimento o ar de insuflação (mistura entre ar reciclado e ar fresco), atravessa o conjunto de resistências de aquecimento situadas em paralelo com a serpentina do evaporador, provocando um aumento de temperatura do ar insuflado.

A zona do condensador é constituída por: um conjunto de tubos de cobre com alhetas em alumínio (serpentina do condensador); um ventilador axial com o respectivo motor cuja função é fazer circular o ar de arrefecimento sobre a serpentina do condensador; um compressor; uma válvula *by-pass* que regula a capacidade do compressor; uma válvula de solenóide; um filtro desumidificador; um indicador de nível de humedificação; um painel com dispositivos de regulação da pressão e de segurança e componentes eléctricos.

Existem sensores de temperatura distintos destinados à medição da temperatura do ar insuflado, reciclado e exterior, com o objectivo de efectuar a regulação da temperatura no interior do veículo.

O painel de controlo, situado à entrada do ar reciclado, inclui o controlo electrónico da temperatura e os elementos necessários (contactores, disjuntores, etc.) para efectuar as diferentes operações do sistema no interior do salão.

A temperatura é controlada por um microprocessador, que actua de acordo com as instruções necessárias a manter a temperatura requerida no interior do veículo e com os dispositivos automáticos necessários a controlar e proteger os elementos constituintes do sistema

A unidade de HVAC do salão é constituída por dois circuitos de refrigeração cuja operação é independente

Os modos de operação são controlados automaticamente através da temperatura externa, da seguinte forma:

- Temperatura externa menor que 15°C – modo de aquecimento;
- Temperatura externa entre 15°C e 22°C - modo de ventilação;
- Temperatura externa maior que 22°C – modo de arrefecimento.

2.3.12.2 SISTEMA DE AVAC NA CABINA

Existe uma unidade de HVAC instalada no tejadilho de cada cabina de condução (Fig. 64), que se encontra ligada às condutas de insuflação e reciclagem. O ar é insuflado pelo tecto e recolhido por registos existentes ao longo do vidro.



Fig. 64 Unidade de AVAC da cabina

Cada unidade de HVAC é controlada de forma independente, e os modos de operação podem ser seleccionados manualmente através de um selector. O condutor tem a possibilidade de controlar a temperatura da cabina em torno do valor nominal numa gama de valores de $\pm 3^{\circ}\text{C}$.

Com excepção do que foi dito na presente secção, o funcionamento do AVAC da cabina é em tudo semelhante ao funcionamento do AVAC do salão, já descrito na secção 2.3.12.1.

2.3.13 ENGATE AUTOMÁTICO

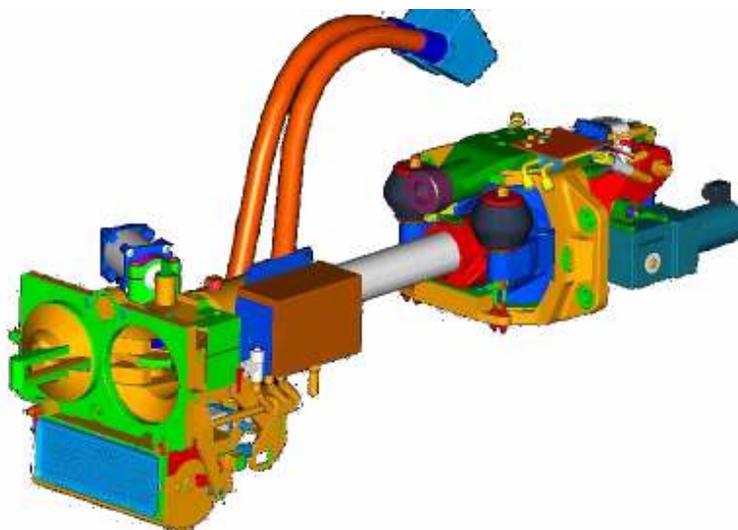


Fig. 65 engate automático (Imagem manipulada no programa informático *CATIA*)

O engate automático da Dellner couplers foi concebido com o objectivo de desempenhar as seguintes funções:

- Acoplamento mecânico automático;
- Acoplamento eléctrico automático.

O sistema engate automático consiste em duas unidades situadas em cada um dos extremos do veículo (Fig. 66).

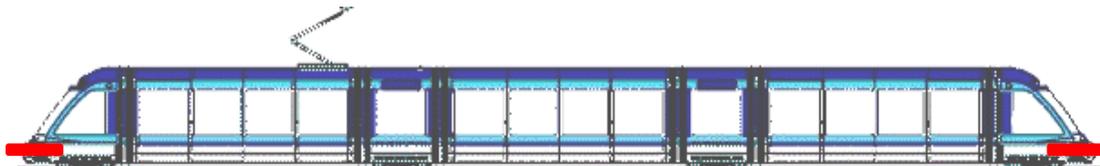


Fig. 66 Localização do engate automático no veículo Metro do Porto

O veículo Metro do Porto está concebido para circular ou em unidades simples ou em composições múltiplas articuladas por meio de um engate (duas unidades acopladas) (Fig. 67).

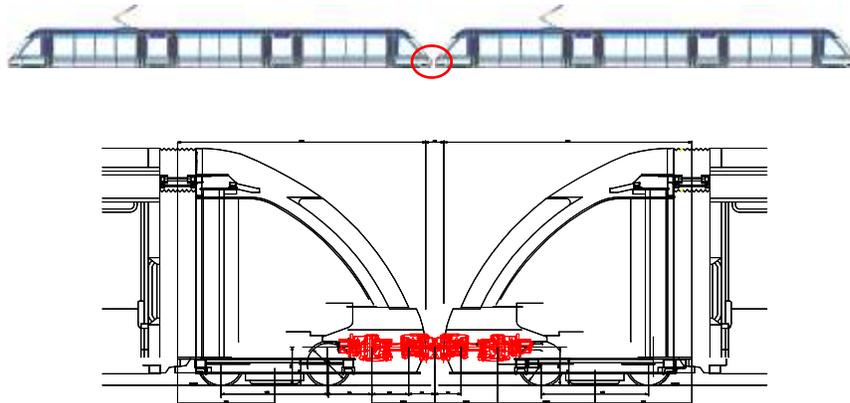
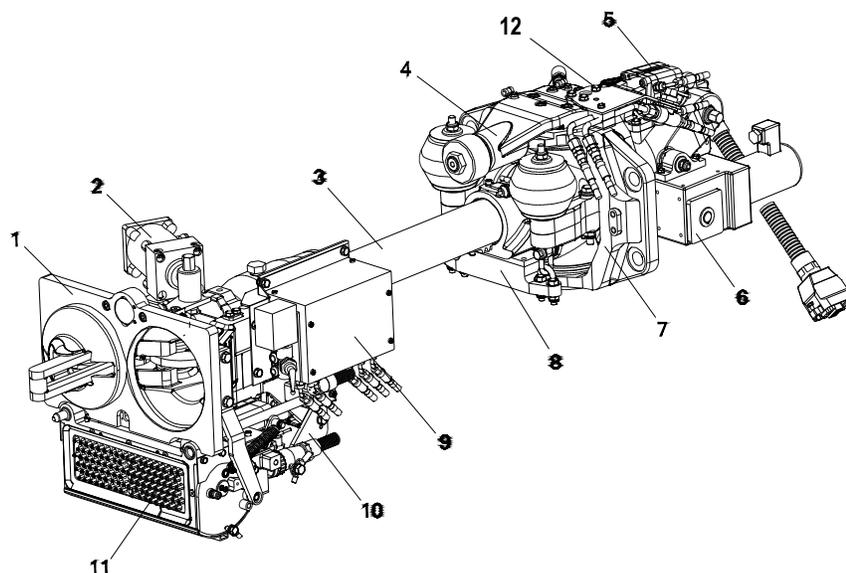


Fig. 67 Composição múltipla articulada (duas unidades acopladas)

É possível observar-se na Fig. 68 os principais componentes do engate automático e a sua instalação no veículo na Fig. 69.



Nº	Descrição	Nº	Descrição
1	Acoplamento Mecânico	7	Grupo de tracção e articulação
2	Cilindro de Desacoplamento Mecânico	8	Suporte Vertical
3	Dispositivo Absorção Energia e Tirante de Tracção	9	Caixa de Distribuição (JBC)
4	Dispositivo de Centragem Angular	10	Cilindro de Acoplamento Eléctrico
5	Cilindro de Bloqueio Tirante Tracção	11	Acoplamento Eléctrico
6	Moto-Redutor	12	Unidade de Controlo Motriz (JBT)

Fig. 68 Principais componentes do engate automático



Fig. 69 engate automático no veículo Metro do Porto

O acoplamento é conseguido a baixa velocidade sem necessidade de intervenção manual, resultando numa ligação rígida, justa e perfeitamente segura.

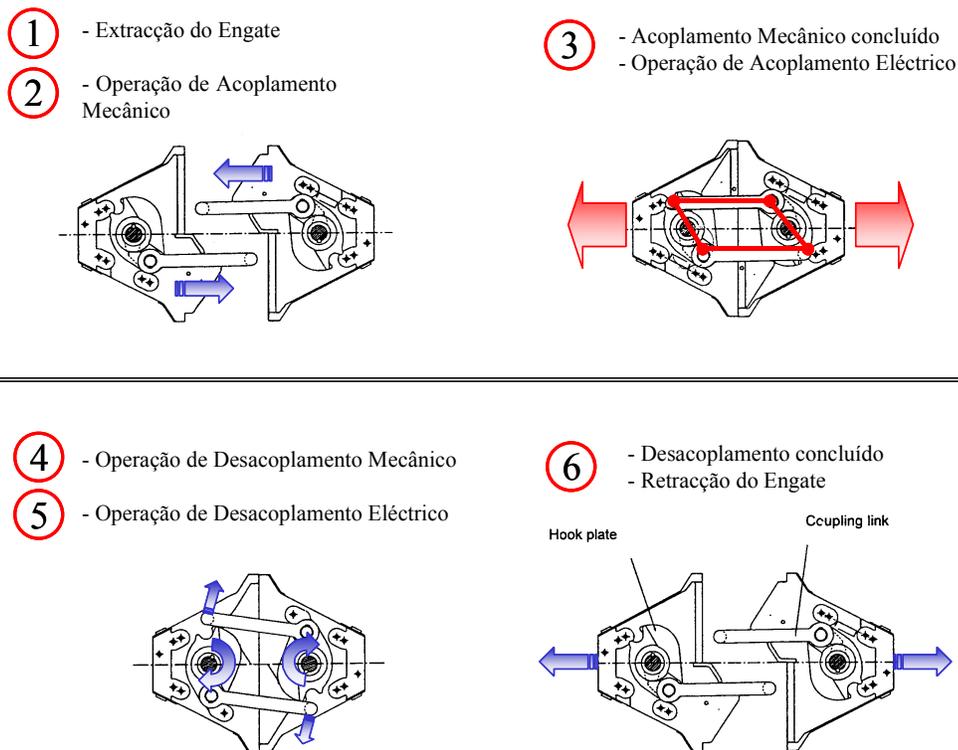


Fig. 70 Sequência de acoplamento

A sequência de acoplamento completa (acoplamento mecânico e eléctrico) compreende os passos ilustrados na Fig. 70⁹ (embora só esteja representado o mecanismo de acoplamento mecânico da cabeça do engate):

1. **Extracção do engate** (início da operação de engate entre dois veículos) - Para que se dê início à operação de acoplamento entre dois veículos, é necessário que se abra a porta retráctil que se encontra na extremidade dianteira da cabina (Fig. 71).



Fig. 71 Abertura da porta retráctil para extracção do engate

⁹ Todas as referências a componentes serão feitas de acordo com a Fig. 68 entre {}.

È ainda requisito que o engate esteja centrado em relação ao veículo, i.e., que o seu eixo longitudinal seja paralelo ao eixo de simetria longitudinal do veículo. Para isso, existe um dispositivo puramente mecânico, denominado de dispositivo de centragem angular {4}, situado sobre o grupo de tracção e articulação {7} (Fig. 72). A figura mais à direita ilustra o princípio de funcionamento deste dispositivo, e que tem como base a actuação de uma força radial numa esfera (provocada por acção de uma mola) de encontro a um excêntrico, proporcionando a ocorrência de zonas de instabilidade em torno de um ponto de equilíbrio.

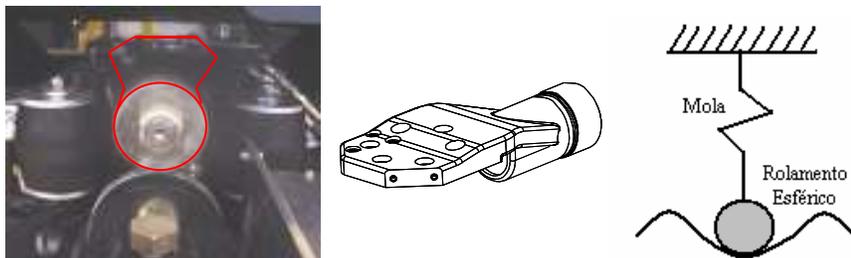


Fig. 72 Dispositivo de centragem angular

O cilindro de bloqueio do tirante de tracção {5} liberta o tirante de tracção {3}. Uma roda dentada engrenada na cremalheira do tirante de tracção {3}, é accionada através do veio do moto-redutor {6}, provocando o movimento de translação da cabeça do engate (durante um percurso de 400mm).

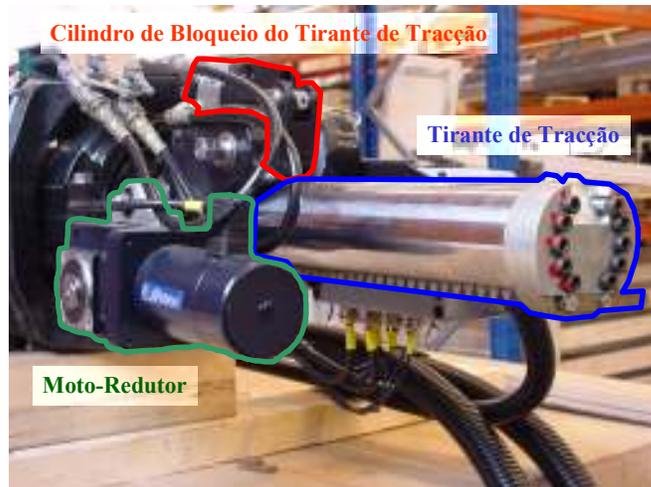


Fig. 73 Componentes responsáveis pelo movimento de extracção do engate

Quando o tirante de tracção {3} estiver totalmente extraído volta a ser bloqueado pelo cilindro de bloqueio do tirante de tracção {5}.

2. Operação de acoplamento mecânico (que conduz ao acoplamento mecânico propriamente dito)

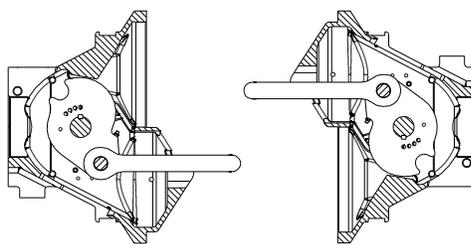


Fig. 74 engates em posição para a operação de acoplamento

A Fig. 74 mostra a disposição do mecanismo do acoplamento mecânico {1} quando em posição para a operação de acoplamento. Esta figura ilustra ainda o mecanismo na situação de engate desacoplado.

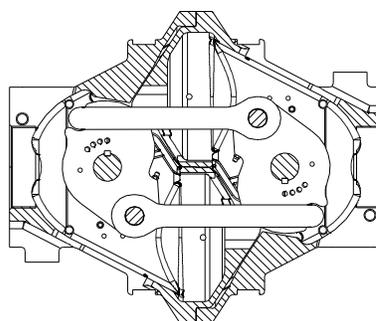


Fig. 75 engates Acoplados mecanicamente

A Fig. 75 ilustra o mecanismo na posição de acoplamento, que ocorre por aproximação de ambos os veículos até haver contacto entre as faces frontais dos acoplamentos mecânicos. Quando os dois engates se encontram, o tirante de acoplamento fica bloqueado no disco de ganchos rotativo. Uma mola de torção coloca o gancho rotativo na posição de acoplamento forçando o tirante de acoplamento a manter a sua posição.

Uma vez completa a operação de acoplamento mecânico, é formado um paralelogramo articulado por ambos os tirantes de acoplamento e ganchos rotativos, transmitindo os esforços para o corpo do engate através do eixo principal. Nesta posição, que pode ser melhor observada na 3ª fase da Fig. 70, as duas cabeças dos engates formam uma ligação rígida, justa e perfeitamente segura.

3. **Operação de acoplamento eléctrico** (que conduz ao acoplamento eléctrico propriamente dito. Neste momento os veículos estão prontos a circular em conjunto) - Só se dá início à operação de acoplamento eléctrico após ter sido concluída com sucesso a operação de acoplamento mecânico. Desta forma, evita-se que os pinos do acoplamento eléctrico {11} sejam danificados. O acoplamento eléctrico {11}

encontra-se retraído, inicialmente, sob o acoplamento mecânico {1} e coberto por uma tampa de protecção (Fig. 76).



Fig. 76 Acoplamento eléctrico em posição retraída

Por acção do cilindro de acoplamento eléctrico {10}, o acoplamento eléctrico {11} vai ser extraído, abrindo-se automaticamente a tampa de protecção (Fig. 77).

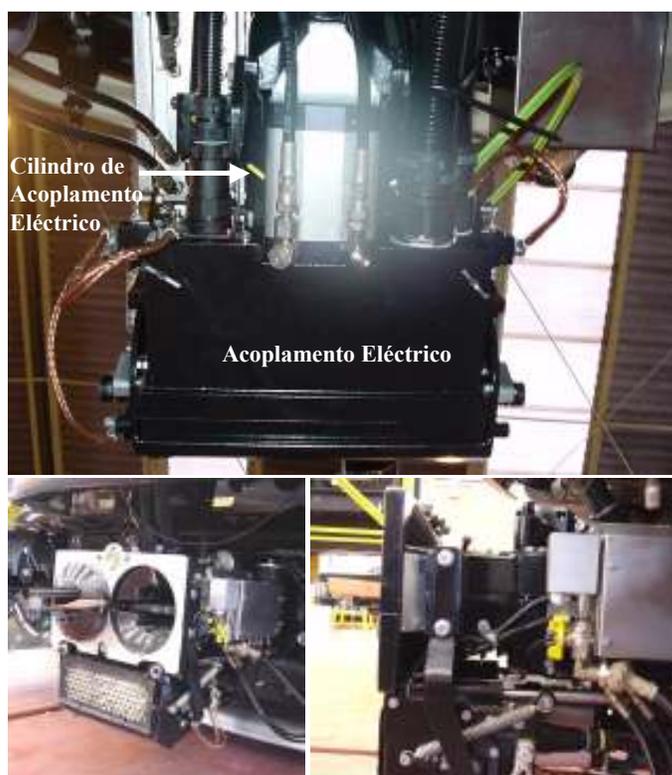


Fig. 77 Intervenientes na operação de acoplamento eléctrico

4. **Operação de desacoplamento eléctrico** (início da operação de desengate entre dois veículos) - Esta operação processa-se de forma exactamente inversa à anterior.
5. **Operação de desacoplamento mecânico** (que conduz ao desengate entre veículos) - Esta operação é muito semelhante à 2ª fase do processo (operação de acoplamento mecânico). No entanto, tem algumas diferenças que interessam referir. O desacoplamento mecânico pode ser conseguido de duas formas: automaticamente (por controlo remoto) ou manualmente (directamente no engate). Em ambos os casos, o funcionamento processa-se da seguinte forma: o eixo principal é actuado provocando a rotação do disco com ganchos para a posição de desacoplamento. Neste momento é possível a separação dos veículos.

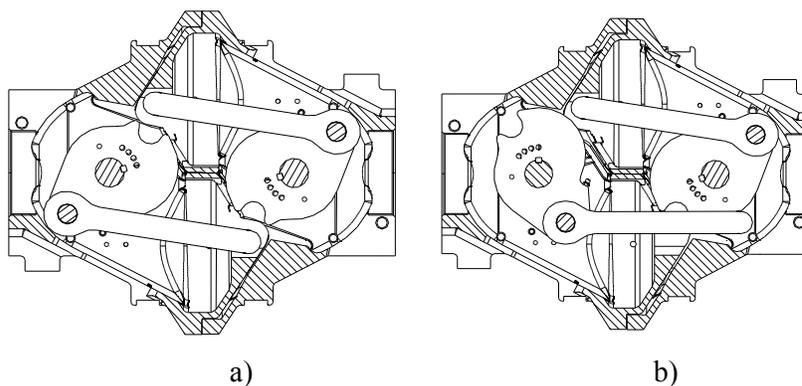


Fig. 78 Disposição dos mecanismos aquando da operação de desacoplamento: a) de forma automática; b) de forma manual

A Fig. 78 ilustra a disposição que os mecanismos tomam aquando da operação de desacoplamento. A operação automática de desacoplamento mecânico é iniciada através da actuação do cilindro de desacoplamento mecânico {2} situado no topo da cabeça do engate. O êmbolo do cilindro é extraído provocando a rotação do eixo principal (Fig. 79).



Fig. 79 Intervenientes na operação de desacoplamento mecânico automática

A operação manual de desacoplamento mecânico é conseguida através da utilização de uma ferramenta especial no braço do eixo principal que se encontra no topo da cabeça do engate. Quando o braço é activado o eixo principal é rodado permitindo o desacoplamento mecânico manual.

O braço de desacoplamento mecânico tem que ser rodado o suficiente de forma a que o mecanismo se mantenha fixo na posição de desacoplamento. O tirante de acoplamento do engate oposto bloqueia o movimento do disco com ganchos impedindo o mecanismo de voltar à posição de acoplamento.

6. Retracção do engate (os veículos estão prontos a circular individualmente) - Esta operação processa-se de forma exactamente inversa à 1ª fase.

Para além destas características operacionais, o engate contém ainda dispositivos que permitem variações entre veículos em ambas as direcções horizontal e vertical (simulando uma articulação) e inclui um dispositivo de absorção de energia.

O engate tem um ângulo de varrimento horizontal de $\pm 12^\circ$, o que permite a circulação em curva. Tem ainda dois ângulos de varrimento vertical e de torção, de $\pm 6^\circ$ e de $\pm 3^\circ$ respectivamente, ambos proporcionados pelas molas de borracha do suporte vertical {8} (Fig. 80).



Fig. 80 Molas de borracha do suporte vertical

Finalmente, resta mencionar o dispositivo de absorção de energia {3}, do tipo gás-hidráulico (Fig. 81). Os esforços são transmitidos ao veículo a partir da cabeça do engate através do dispositivo de absorção de energia e tirante de tracção até á fixação do engate. A fixação do engate é efectuada ao chassis do veículo com 4 parafusos M24.



Fig. 81 Dispositivo de absorção de energia gás-hidráulico

O dispositivo de absorção de energia gás-hidráulico tem um curso de 140mm e está pre-tensionado para uma carga de 35 kN. Este tem como funções aumentar os padrões de conforto devido aos movimentos relativos entre dois veículos; minimizar a violência da transmissão de esforços de um veículo para outro em caso de colisão; e no caso de avaria de um dos veículos, é necessário garantir que o veículo em bom estado consegue rebocar o veículo “morto” numa subida (sem carga de passageiros).

2.3.14 COMUNICAÇÃO

O sistema de Comunicação é constituído pelo sistema de informação ao passageiro (áudio e visual), sistema de vídeo, gravador de registos e dispositivo ATP/IMU.

2.3.14.1 SISTEMA DE INFORMAÇÃO AO ÁUDIO

O sistema de informação áudio permite emitir informações ou estabelecer uma linha de comunicação entre passageiros e condutor em situações de emergência através de uma rede de altifalantes e auscultadores. Além disso, o condutor poderá comunicar com outra cabina ou ainda com o posto de comando e controlo (PCC). Este último poderá ainda comunicar directamente com os passageiros.

Este sistema é constituído por uma unidade de controlo áudio (ACU), dois painéis de controlo da cabina (CCP) (com portas de ligação para o microfone (GNM), auscultador (HS), altifalante da cabina (CLS) e botões na cabina do condutor), doze intercomunicadores de emergência (ESU) e vinte altifalantes (ILS) nas zonas destinadas aos passageiros.

2.3.14.2 SISTEMA DE INFORMAÇÃO VISUAL

O sistema de informação visual é constituído por três indicadores distintos (indicador de destino externo frontal, indicador de destino externo lateral e indicador de destino interno bifacial).

A unidade gestora deste sistema é o controlador do sistema integrado de informação a bordo (IBIS SC). O sistema de informação visual contém seis indicadores de destino externos, constituídos por alhetas magnéticas amarelas e LED's verdes, e dois indicadores de destino internos, constituídos por LED's vermelhos.

Existem dois indicadores de destino externos frontais, um em cada extremidade do veículo e colocados sobre os pára-brisas frontais, visíveis a partir do exterior do veículo (Fig. 82). O indicador de destino frontal pode apresentar informação relativa ao código da linha e às estações de destino, bem como outras mensagens especiais.

Há quatro indicadores de destino externos laterais, dois em cada lateral do veículo, que são visíveis a partir dos cais das estações (Fig. 82). O indicador de destino lateral pode apresentar informação relativa às estações de destino, bem como outras mensagens especiais.



Fig. 82 Localização dos indicadores de destino externos no veículo

Os dois indicadores de destino internos (Fig. 83) estão instalados no interior do veículo, sendo visíveis para as pessoas que se encontrem no seu interior. O indicador de destino interno mostra informação relativa à estação de destino ou a estações intermédias. Este indicador pode ainda mostrar a data e a hora, bem como outras mensagens especiais.



Fig. 83 Indicador de destino interno

2.3.14.3 SISTEMA DE VÍDEO

O sistema de vídeo consiste num circuito de vídeo com quatro câmaras exteriores, colocadas duas a duas nas laterais das cabinas (Fig. 84). No interior da cabina estão colocados dois monitores. As imagens recolhidas pelas câmaras e visualizadas no monitor (Fig. 85) dependem da configuração do veículo (i.e., se o veículo é uma unidade simples ou uma composição múltipla).



Fig. 84 Câmara de vídeo



Fig. 85 Disposição dos monitores de vídeo na mesa de condução

Em veículos simples, os ecrãs mostram imagens provenientes de duas câmaras (Fig. 86), ao passo que em composições múltiplas (veículos acoplados) os ecrãs apresentam imagens bipartidas provenientes de quatro câmaras, i.e., duas imagens por monitor (Fig. 87).

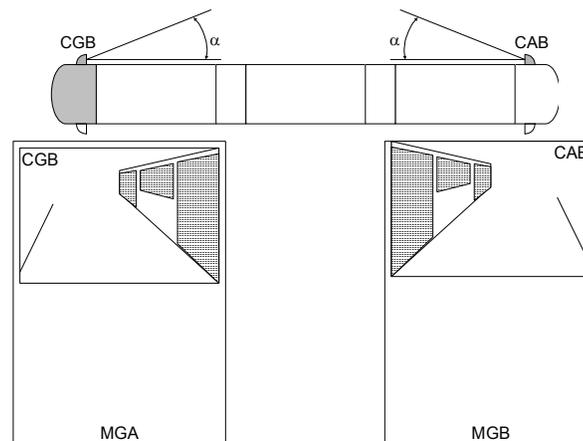


Fig. 86 Imagens visualizadas nos monitores de um veículo simples

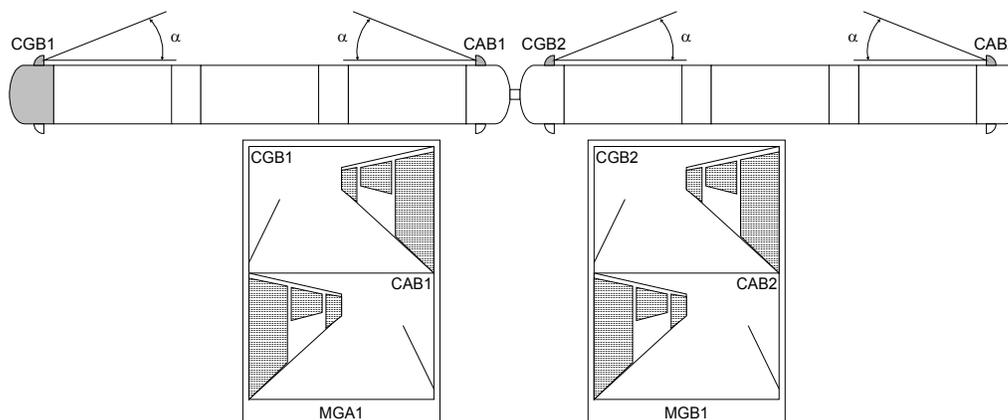


Fig. 87 Imagens visualizadas nos monitores de composições múltiplas

2.3.14.4 GRAVADOR DE REGISTOS

O gravador de registos (Fig. 88) é um dispositivo localizado num armário da cabina A que armazena parâmetros relativos à operação do veículo, tais como informações importantes para a análise de eventuais acidentes do veículo.



Fig. 88 Gravador de registos

2.3.14.5 DISPOSITIVO ATP / IMU

O ATP/IMU é constituído por um dispositivo localizado no tejadilho do módulo central e por uma antena do IMU e por um magneto do ATP situados na parte inferior deste módulo. Este sistema é capaz de aplicar a frenagem de socorro ao veículo, quando este passa um sinal vermelho ou ultrapassa a velocidade máxima permitida.

2.3.15 SISTEMAS DE SEGURANÇA

Todos os sistemas do veículo foram concebidos considerando uma análise detalhada dos modos de falha. Na prática foram adoptados os seguintes princípios de projecto:

- Circuitos eléctricos dedicados - Todos os dados relevantes relativos à tracção, frenagem e operação da porta, são transmitidos por cabos eléctricos. As informações gerais enviadas para a cabina do condutor são processadas quer através da lógica do veículo quer através dos cabos eléctricos dedicados. Esta

característica permite a validação dos sinais vitais, através de uma comparação entre ambos. No caso de divergir, é considerado o sinal de segurança.

- Anéis de segurança - Ao longo do veículo existem anéis (cabos eléctricos dedicados) de segurança que têm como função activar a frenagem de emergência, se necessário. O anel de segurança entra em acção perante um sinal originário de balizas magnéticas instaladas ao longo da via, ou ainda, por pedido expresso do condutor. O anel das portas obriga a que, o veículo, quando em movimento, apresente todas as portas fechadas.
- Alimentação eléctrica galvânica - Os anéis de segurança são alimentados através da alimentação eléctrica galvânica que actua de forma redundante. Uma falha na redundância desta alimentação é sinalizada ao condutor. Esta característica mantém-se operacional quando o veículo se encontra acoplado a outro.
- Testes - Diariamente os anéis de segurança devem ser testados funcionalmente, durante a inicialização do veículo.

Os sistemas de segurança, sendo inerentes ao próprio veículo, são os seguintes:

- Sinalização e visibilidade externa do veículo - A cor do veículo associado a alguns sinais luminosos particulares, permite a sua visibilidade, mesmo em condições adversas (más condições atmosféricas e de pouca luminosidade).
- Iluminação - A iluminação interior dos salões e cabinas proporciona uma boa visibilidade por parte dos passageiros e do condutor no seu interior, especialmente em condições de pouca luminosidade exterior ou em períodos de operação nocturna.
- Sistema de frenagem - A filosofia de frenagem do veículo apresenta prioridade de um comando de frenagem sobre um comando de tracção. Existem dois modos de frenagem definidos: normal e degradado. Existem dois regimes de frenagem definidos: normal e degradado. O regime de frenagem normal é aquele que ocorre durante a operação normal do veículo, enquanto que o regime de frenagem degradado ocorre quando sucede uma falha no sistema de frenagem que requer o isolamento do equipamento. Em resultado deste isolamento, o veículo opera com velocidade reduzida (ver secção 2.3.6).
- Protecção ao impacto - Existem pára-choques localizados nas cabinas de condução, que protegem o veículo contra o impacto. Os pára-choques são montados juntamente com uns absorvedores de energia (Fig. 89), que estão fixos à estrutura do veículo. Estes dispositivos estão concebidos para proteger o veículo contra impactos a baixa velocidade, sem que se verifiquem danos permanentes da estrutura.



Fig. 89 Amortecedores do pára-choques

- Apoio dos passageiros - No interior do veículo existem bancos e balaústres para os passageiros.
- Evacuação de passageiros - A evacuação dos passageiros é realizada através das portas situadas nos salões. Existem dispositivos de segurança que evitam que os passageiros ou as suas roupas fiquem presas aquando do fecho das portas (células foto-eléctricas, limitador de corrente do motor e bordo sensível). Além disso, existe um manípulo localizado em todas as portas, que permite aos passageiros alertar o condutor em caso de emergência. Uma vez activado, este dispositivo estabelece um canal de comunicação entre o passageiro e condutor, para que sejam tomadas as acções necessárias.
- Dispositivo homem-morto - O dispositivo homem-morto está integrado no manípulo de tracção/frenagem, na mesa de condução. O veículo detectará periodicamente a actividade do condutor, tanto através da variabilidade na condução (aceleração e travagem) como através de um botão especialmente concebido para o efeito. Desta forma é possível garantir a operacionalidade do condutor. No caso do dispositivo homem-morto detectar uma anomalia, actua directamente no anel de segurança aplicando uma frenagem de emergência.
- Anel de segurança - O sistema do anel de segurança provoca a aplicação dos freios quando o anel é aberto. Este anel de segurança, constituído por cabos eléctricos dedicados, inclui os relês das unidades de controlo das portas, o interruptor da chave do condutor e ainda o dispositivo homem-morto.

3 INTRODUÇÃO À MANUTENÇÃO

3.1 CONCEITOS BÁSICOS

3.1.1 INTRODUÇÃO

Quando se fala de Manutenção, subentende-se naturalmente a ocorrência ou probabilidade de ocorrência de uma avaria. Pode-se definir avaria (ou falha) como sendo a alteração ou cessação da possibilidade de um bem ou equipamento realizar uma função pré-determinada.

A abertura dos mercados, a redução dos proteccionismos e a economia global têm influenciado decisivamente a evolução dos conceitos de Manutenção. Hoje as empresas vêem-se confrontadas com a necessidade de rentabilizar os factores produtivos de modo a gerar os lucros indispensáveis ao seu crescimento e desenvolvimento. Esses objectivos apenas poderão ser alcançados se for incrementada a inovação, a criatividade e a organização [2].

Segundo a AFNOR X 60-010, a Manutenção pode ser definida como o *conjunto de acções que permitem manter ou restabelecer um bem num determinado estado específico ou com possibilidade de assegurar um serviço determinado*. No fundo, uma manutenção devidamente executada permite assegurar a operação de um determinado bem ou equipamento por um custo global mínimo.

A Manutenção começa muito antes da primeira avaria de uma máquina; começa na fase de Projecto. É na fase de concepção que a manutibilidade, fiabilidade, disponibilidade e durabilidade vão ser pré-determinadas.

O conhecimento do material, das suas fraquezas e degradações progressivas observadas no dia-a-dia, permite fazer correcções, melhoramentos e optimização do equipamento por forma a minimizar a relação

$$\frac{\text{despesas de manutenção} + \text{custos de paragens fortuitas}}{\text{serviço efectuado}}$$

A Manutenção pode ser realizada sob diversas formas, tais como:

- Reparações;
- Inspeções;
- Lubrificações;
- Limpezas;
- Rotinas;

- Pinturas;
- Testes / Medições;
- Substituição de componentes-

A última missão do serviço da manutenção consiste em determinar o momento económico óptimo de terminar as acções curativas e correctivas de um bem e participar na selecção de um novo

A importância da função manutenção tem vindo a aumentar progressivamente a par das tecnologia e sociedade modernas. Os equipamentos de produção são, cada vez mais, automatizados. Tornam-se mais compactos, mais complexos e são utilizados de forma mais intensa, sendo necessário fazerem-se investimentos mais elevados. Em contrapartida, requerem-se tempos de amortização inferiores. Por outro lado, os tempos de indisponibilidade sobre um “processo” são economicamente mais críticos que sobre um conjunto de máquinas numa linha. A exigência imposta por novos métodos de gestão da produção, o “Just-in-time”, requer a eliminação quase total dos problemas e avarias das máquinas.

Assim, um bem deve ser sujeito a Manutenção sempre que:

- A sua falha afecte a segurança de pessoal, instalações e de terceiros;
- A sua falha afecte a operacionalidade e produtividade da empresa;
- A sua falha conduza a custos de reparação inaceitáveis ou o seu custo de investimento seja elevado;
- A sua falha afecte de forma inaceitável a fiabilidade do conjunto em que se insere.

Em conclusão, a Manutenção, ao contrário da Conservação que visa reparar um bem com vista a assegurar a continuidade da produção, é uma função que estabelece os meios de prevenir, de corrigir ou de renovar, seguindo um critério económico, a fim de otimizar o custo global de posse de um equipamento.

3.1.2 TERMINOLOGIA DA MANUTENÇÃO

Pode-se dividir a Manutenção em dois grandes grupos [3]: Correctiva e Preventiva. Dentro de cada um destes, podem-se ainda distinguir dois pequenos grupos, tal como ilustrado na Fig. 90.

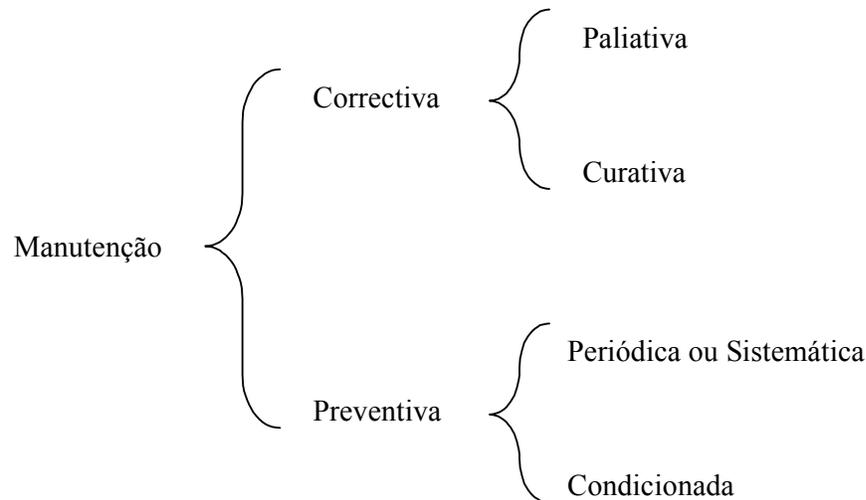


Fig. 90 Divisão da Manutenção em diferentes formas¹⁰

Segundo a AFNOR, existem ainda 5 níveis de manutenção a contemplar:

- | | |
|----------|---|
| 1º nível | Afinações simples previstas pelo construtor sem desmontagem do equipamento ou substituição de elementos acessíveis com toda a segurança. A intervenção é realizada pelo operador. |
| 2º nível | Reparações através da substituição de elementos <i>standard</i> previstos para o efeito ou operações menores de manutenção preventiva. A intervenção requer um técnico habilitado. |
| 3º nível | Identificação e diagnóstico de avarias, reparação por substituição de componentes funcionais ou reparações mecânicas menores. A intervenção é realizada por um técnico especializado ou por uma equipa de manutenção. |
| 4º nível | Trabalhos importantes de manutenção correctiva ou preventiva. A intervenção requer a presença de uma equipa de manutenção dedicada. |
| 5º nível | Trabalhos de renovação, de construção ou reparações importantes numa oficina central ou por <i>outsourcing</i> (sub-contratação). A intervenção é efectuada por uma equipa completa de manutenção polivalente e dedicada. |

3.1.3 MANUTENÇÃO CORRECTIVA

¹⁰ Há autores que consideram a Manutenção Preventiva Condicionada como sendo parte de um terceiro grande grupo, frequentemente designado de Manutenção Preditiva. Há também autores que distinguem Manutenção Curativa de Manutenção Correctiva e que não consideram a Manutenção Correctiva Paliativa como uma forma de Manutenção.

De acordo com o que foi dito, a Manutenção Correctiva pode ser do tipo Paliativo ou Curativo. A Manutenção Correctiva Paliativa é substancialmente mais simples que a do género Curativo. Grosso modo, poder-se-á dizer que a Manutenção Paliativa é uma forma de “desenrascar”, provisória, até que seja corrigida a avaria de forma definitiva, i.e., seja efectuada uma intervenção de carácter Curativo com renovação total do equipamento em que se verificou a falha. Uma intervenção Paliativa corresponde aos 1º e 2º níveis definidos na secção 3.1.2 e uma intervenção Curativa corresponde aos 3º e 4º níveis.

Tradicionalmente, a Manutenção Correctiva, enquanto método, pode ser caracterizada da seguinte forma:

- O pessoal da Manutenção só actua após a ocorrência de uma avaria e tem um cargo de trabalho irregular – a Manutenção Correctiva é indissociável do conceito de avaria ou falha;
- A preparação de trabalho é feita após a análise da avaria, quando a urgência o permite;
- As peças de substituição são procuradas a pedido.

Este método justifica-se quando:

- Os custos indirectos da avaria são mínimos e não há problemas de segurança;
- A empresa adopta uma política de renovação frequente do parque material;
- O parque é constituído por várias máquinas em que as eventuais avarias não afectam de forma crítica a produção (por exemplo, devido à existência de redundâncias).

Embora esteja desactualizado e não corresponda integralmente à realidade actual, o método descrito provocou a evolução da função Manutenção, proporcionando:

- Análise das avarias, nomeadamente no que diz respeito à determinação das suas causas e efeitos;
- Correção eventual de modo a eliminar a causa ou a minimizar as suas consequências;
- Conhecimento profundo dos sistemas, i.e., memorização dos dados relativos à intervenção (histórico de avarias);

- Evolução para um Planeamento de Manutenção (onde se enquadra a periodicidade da Manutenção Preventiva e as preparações de trabalho previamente elaboradas para todo o sistema de Manutenção).

Percebe-se, assim, que a antiga filosofia de deixar as máquinas trabalhar até que avariassem (manutenção correctiva curativa e paliativa), e só então as reparar para voltarem ao serviço, teria de ser rapidamente abandonada por se revelar muito cara, quer em tempos de indisponibilidade (custos indirectos), quer em termos de custos de reparação (custos directos) e quer em termos de destruição progressiva da própria máquina.

Desde logo se reconheceu que seria mais económico, haveria mais disponibilidade e adviria funcionamento mais equilibrado se se procedesse a operações planeadas de manutenção da máquina, e seus componentes, a intervalos regulares (manutenção preventiva).

3.1.4 MANUTENÇÃO PREVENTIVA

Tal como o nome sugere, a Manutenção Preventiva pressupõe a intervenção do serviço de Manutenção num momento devidamente preparado e programado antes da data provável do aparecimento de uma avaria. Há num entanto que tomar em consideração a complementaridade correctiva – preventiva, tendo em vista o custo mínimo.

A Manutenção Preventiva tem como objectivos:

- Repor a fiabilidade aos equipamentos¹¹, reduzindo a probabilidade de ocorrência de avarias em serviço e consequentemente reduzindo custos devidos a avarias e aumentando a disponibilidade;
- Aumentar a duração de vida útil de um equipamento;
- Melhorar, organizar e estruturar o planeamento dos trabalhos, logo as relações com a produção;
- Reduzir e regularizar a carga de trabalho (meios humanos, consumíveis, sobressalentes e ferramentas claramente definidos);
- Facilitar a gestão de *stocks* (consumos previstos);

¹¹ Alguns autores vão mais além, dizendo que a Manutenção Preventiva visa aumentar a fiabilidade. Tal como será demonstrado em 3.3, isto só é verdade quando se substitui um determinado bem ou equipamento por outro com uma fiabilidade superior.

Por exemplo, suponha-se que se tem uma caneta com uma carga de uma marca pouco conceituada ou de marca “branca”. Se a tinta da carga secar ao fim de um determinado tempo e se substituir por uma idêntica, então fez-se uma reposição da fiabilidade. Se, no entanto, se substituir por uma carga de uma marca mais conhecida (por exemplo, *Parker*), será de esperar que a probabilidade da tinta secar nesse período de tempo seja menor, i.e., aumentou-se a fiabilidade.

- Assegurar a segurança das intervenções (menos improvisos e são tomadas as medidas de precaução adequadas atempadamente);
- De uma forma geral, reduzir os acontecimentos fortuitos e melhorar as relações humanas (uma avaria imprevista é sempre causa de tensão).

Para que os propósitos da Manutenção Preventiva se concretizem, é necessária a existência de:

- Gestão da documentação técnica, dossiers máquina, preparações de trabalho e histórico dos equipamentos;
- Análises técnicas de comportamento do equipamento;
- Preparação das intervenções;
- Concertação com a produção.

As intervenções preventivas permitem acumular informações relativas ao comportamento do material. Se os resultados das visitas põem em evidência uma lei de degradação, será fácil conhecer o momento exacto em que o serviço de manutenção deve intervir. Se aparecem avarias súbitas e repetitivas, uma análise estatística dos resultados orientará a política de actuação.

Tal como foi introduzido anteriormente, a Manutenção Preventiva pode-se dividir de duas formas não exclusivas:

- Periódica (ou Sistemática) - quando as intervenções são executadas a intervalos regulares, seja calendário (dias, meses, trimestres, etc.), quilómetros ou horas de funcionamento.
- Condicionada (ou Não Periódica) - quando as acções de manutenção são executadas, não em função de uma periodicidade preestabelecida, mas em função de um diagnóstico ou de uma oportunidade.

O problema do planeamento da Manutenção Preventiva Periódica assenta fundamentalmente na escolha da unidade de medida (km, horas, meses, etc.) do intervalo entre operações [2].

Com efeito, o tempo de funcionamento antes da paragem para manutenção não é constante, varia de situação para situação, tanto por causa do regime de operação da máquina como pela variação das condições ambientais em que ela trabalha, apresentando-se por isso mais vantajosa a Manutenção Preventiva Condicionada [2].

3.1.4.1 MANUTENÇÃO PREVENTIVA PERIÓDICA

A Manutenção Preventiva Periódica (ou Sistemática), é efectuada segundo um plano estabelecido segundo o tempo ou número de unidades de utilização. As intervenções serão programadas segundo uma periodicidade obtida a partir dos dados do construtor do equipamento (1ª fase), ou dos resultados operacionais das visitas preventivas, ensaios realizados ou análise após intervenção correctiva (2ª fase), o que vai otimizar os custos.

A periodicidade pode ser definida por:

- Tempo absoluto ou tempo de calendário (e.g., mudar o óleo do motor de um automóvel todos os 6 meses) - geralmente definido para máquinas que trabalhem regularmente ou continuamente;
- Tempo relativo ou unidades de utilização (e.g., mudar o óleo do motor de um automóvel todos os 6 000 km) – geralmente definido para máquinas que trabalhem irregularmente ou que tenham períodos consideráveis de interrupção;
- Primeira condição a atingir entre tempos absoluto ou relativo (e.g., mudar o óleo do motor de um automóvel ao fim de 6 meses ou ao fim de 6 000 km).

No que diz respeito à sua aplicação, deve ser definida para equipamentos que contemplem pelo menos uma das seguintes situações:

- Custos de reparação elevados ou cujos efeitos das avarias conduzam a custos elevados;
- Provoquem a paragem de todo um equipamento global;
- Provoquem uma paragem considerada de longa duração¹²;
- Ponham em causa a segurança do pessoal, utilizadores ou terceiros;
- Estejam sujeitos a legislação particular.

O seu período de intervenção está dependente dos seguintes factores:

- Dados fornecidos pelos construtores;
- Experiência adquirida durante a Manutenção Correctiva;

¹² Como se verá adiante, e para que se tenha uma noção do que possa ser considerado uma paragem de “longa duração”, para o Metro do Porto, enquanto em circulação, uma paragem é considerada grave quando ultrapassa os 3 minutos de duração.

- Estudo de fiabilidade realizado a partir do histórico, de ensaios, dos resultados fornecidos a partir das visitas e inspecções preventivas, dados estatísticos;
- Análise de previsão de fiabilidade;
- Critérios técnico-económicos.

3.1.4.2 MANUTENÇÃO PREVENTIVA CONDICIONADA

O diagnóstico é uma forma de manutenção preventiva, designada por manutenção por controlo de condição. Da análise dos resultados do diagnóstico pode resultar a necessidade de execução de qualquer acção. Esta execução é do tipo preventivo não sistemático e designa-se por Manutenção Condicionada [2]. Na Manutenção Preventiva Condicionada, a decisão de ocorrência de uma intervenção é tomada quando existe evidência experimental de avaria iminente ou que se aproxima o limite de degradação admissível predeterminado. Tem os seguintes objectivos principais:

- Diminuição de Custos;
- Aumento da Disponibilidade;
- Aumento da Segurança;
- Aumento da Produtividade.

Para a sua implantação, é condição necessária que o equipamento que se sujeite a este tipo de manutenção (existência de degradação progressiva e detectável) seja considerado um equipamento crítico (devido ao elevado investimento inicial que este tipo de manutenção implica fazer).

O campo de aplicação deste tipo de manutenção é enorme. Praticamente todas as máquinas e sistemas mecânicos, tais como motores eléctricos, turbinas, bombas, motores alternativos, engrenagens, entre outros, podem e devem ser sujeitos ao acompanhamento de condição. Isto é tão mais verdadeiro quanto mais crítico for o equipamento para a produção, desempenho da empresa ou satisfação do cliente.

Esta metodologia pode ser realizada sob diversas formas, nomeadamente por termografia, análise de óleos (análises físico-químicas), espectrometria, ferrografia, visão artificial (endoscopia), análise de vibrações, entre outros ensaios não destrutivos. A análise de vibrações é sem dúvida a de maior divulgação, uma vez que abrange uma área substancialmente mais vasta, em termos de diagnóstico de avarias, que os restantes métodos.

Ao contrário da Manutenção Preventiva Periódica, não necessita do conhecimento prévio da lei de degradação do equipamento, mas sim do conhecimento do seu comportamento

em condições normais de funcionamento. Assim, torna-se necessário estabelecer um período de Manutenção Preventiva ou um período experimental para determinar o limite de degradação admissível. Segundo o tempo de reacção e velocidade de degradação, fixar-se-á um limite de degradação de alarme. É então necessário proceder à realização dos seguintes procedimentos:

- Registo da condição do equipamento quando novo e após reparação, no banco de ensaios e no local;
- Registo da condição do equipamento antes da reparação, no banco de ensaios e no local;
- Registo da condição do equipamento com periodicidade adequada, durante a vida normal;
- Comparação, análise de tendência e diagnóstico.

A partir deste procedimento obtém-se um histórico do equipamento completo e eficaz, podendo-se então programar a Manutenção Condicionada através de:

- Obtenção de dados necessários e suficientes para a avaliação do estado actual da máquina;
- Quantificação do tempo de vida restante para os componentes da máquina;
- Determinação do tempo máximo que a máquina pode trabalhar até à próxima intervenção de manutenção;
- Determinação das causas directas de avaria e obtenção de informação para melhoria da concepção (*re-design*), construção e operação da máquina.

Com o controlo de condição é possível prever-se, embora com alguma incerteza associada, quando é que um equipamento vai sofrer uma falha, sendo ainda possível detectar a sua localização, de que tipo de equipamento se trata e qual a causa da falha, sem que seja necessário interromper o seu funcionamento. Assim, é possível programar-se uma operação de manutenção de carácter correctivo com antecedência suficiente e sem que o componente tenha ainda falhado, evitando-se que outros componentes sejam prejudicados, garantindo-se períodos mínimos de imobilização da produção e optimizando a gestão de stocks.

Um estudo realizado em 1988 em 500 empresas anglo-saxónicas, permitiu concluir que o impacto da introdução deste tipo de manutenção nos seus programas foi de:

- Redução das avarias de 50 a 60%

- Redução dos *stocks* de sobresselentes entre 20 e 30%
- Redução das paragens de 50 a 80%
- Aumento do tempo de vida das máquinas de 20 a 40%
- Aumento da produtividade de 20 a 30%
- Aumento dos lucros de 25 a 60%

3.2 ANÁLISE DA FUNÇÃO MANUTENÇÃO

A Manutenção, mais que uma actividade, deve ser encarada como uma ciência a par da Engenharia. Alguns dos termos utilizados nas secções anteriores do capítulo 3.1 como distintivos das diferentes formas de Manutenção são antiquados e já não se enquadram profundamente na realidade actual. De facto, será que ainda faz sentido considerar a Manutenção Correctiva Paliativa, de acordo com as definições, como uma forma de Manutenção no sentido estrito? É lógico que este tipo de manutenção afecta gravemente a fiabilidade e segurança em prol de uma disponibilidade aparente. Mas a função Manutenção, de acordo com os padrões altamente exigentes da sociedade e indústria actuais, exige que todos estes requisitos, em simultâneo, sejam cumpridos. Logo, os grupos constitutivos da função Manutenção devem ser denominados e definidos da seguinte forma [2]:

- **Manutenção Curativa** – Quando há funções que não são desempenhadas;
- **Manutenção Correctiva** – Quando os valores normais de desempenho não são completamente alcançados;
- **Manutenção Preventiva** – Para prevenção ou antecipação à ocorrência de avarias. Esta pode ser realizada de forma **Periódica** (função do tempo ou consumo) ou de forma **Condicionada** (função da condição ou estado do equipamento).

Ou seja, em sistemas modernos cuja função qualidade vs custo é imperativo, a forma de Manutenção Paliativa, i.e., provisória, deixa de ser viável. Hoje em dia, é habitual existirem redundâncias para aqueles sistemas considerados críticos, para no caso de ocorrência de avaria não terem consequências que possam ser consideradas desastrosas. No fundo, a Manutenção Paliativa está implícita e actua de forma automática como um sistema de emergência.

As diferenças entre Manutenção Curativa e Correctiva são óbvias, havendo até uma certa redundância na definição de ambas, pelo que muitas vezes se fala apenas de Manutenção Correctiva. A Manutenção Curativa é aplicada quando há uma falha que afecta um sistema produtivo, ao passo que a Manutenção Correctiva é geralmente aplicada a par da

Manutenção Preventiva, quando a última detecta valores de desempenho fora do normal. Ambas as Manutenções Curativa e Correctiva vão ser utilizadas na reparação de um determinado bem. Importa referir que o procedimento da intervenção pode ser igual tanto para a situação de Manutenção Curativa como para a situação de Manutenção Correctiva. Trata-se apenas de um rigor de linguagem. Mas afinal no que consiste a intervenção? Alguns autores consideram que há sistemas reparáveis e não reparáveis. Este texto vai de encontro esta opinião, dado que considera que todos os sistemas são reparáveis de uma forma ou de outra, a saber:

- Por Afinação, Calibração ou Ajuste – Quando é permissivo corrigir uma anomalia através de um procedimento de calibração, e.g., esticar o cabo dos travões de uma bicicleta para aumentar a pressão das pinças;
- Corrigindo a deficiência no local – Quando é possível reparar um equipamento sem substituição de componentes vitais, ou apenas através de uma limpeza (e.g., o rato do computador quando a esfera deixa de rolar de forma contínua) ou lubrificação;
- Por Substituição de um Consumível – O Consumível é o único componente que pode ser considerável de não-reparável. Contudo, normalmente este não é um equipamento crítico. Contudo, geralmente faz parte de um equipamento que pode ser considerado crítico, e este é que é considerado como o objecto de manutenção, e por isso, reparável. Normalmente são componentes fusíveis, de duração limitada (e.g., lâmpadas), de desgaste (e.g., pastilhas de travões e escovas), de saturação (e.g., filtros) ou electrónicos.
- Por Substituição de um Rotável – Um equipamento rotável é normalmente considerado como um equipamento crítico, tanto pela duração e complexidade da operação de manutenção como por afectar a instalação produtiva consideravelmente. Nestes casos, o que se faz é substituir o equipamento completo com avaria por um novo, e enviar o que apresenta falha para oficina onde será sujeito a reparação. Desta forma evita-se consegue-se diminuir o intervalo de paragem vantajosamente.

Ambas as formas Preventiva Periódica e Preventiva Condicionada da função Manutenção têm como objectivos detectar falhas potenciais ou que já ocorreram mas ainda não haviam sido detectadas, por forma a que seja iniciado um procedimento de Manutenção Correctiva. As diferenças entre ambas é que, na primeira, só é possível proceder à detecção periodicamente, ao passo que na segunda a detecção é feita quando é dado um sinal de alarme mediante limites predeterminados. A Manutenção Condicionada confronta-se com a Manutenção Preventiva Periódica da seguinte maneira:

- Utiliza ao máximo os órgãos e equipamentos, diminuindo os stocks de peças sobressalentes;
- Diminui parte da Manutenção Correctiva residual;

- Complica o planeamento, obrigando a uma gestão individualizada da programação das intervenções;
- Aligeira as análises técnico-económicas, mas implica a implementação de sistemas de vigilância pesados e, por vezes, difíceis de interpretar.

Resta referir que a Manutenção Condicionada pode aparecer sob três formas distintas:

- Forma Estrita – Vigilância contínua;
- Forma Larga – Vigilância periódica;
- Forma Integrada – Sem vigilância externa e com auto-vigilância.

As primeira e terceira formas são de fácil entendimento. Na primeira, um aparelho de análise externo está a medir valores continuamente, enquanto que na terceira, o próprio equipamento detecta a avaria (e.g., sistemas de protecção). A segunda forma pode criar dúvidas no que diz respeito à Manutenção Preventiva Periódica. Afinal, quais são as diferenças?

Na Manutenção Preventiva Periódica, sempre que há uma intervenção que diga respeito, por exemplo, à substituição de um componente, este é substituído independentemente do seu estado no momento da intervenção. Na Manutenção Condicionada (forma Larga), em que também é definido um período entre intervenções, o componente só é substituído se a sua condição não estiver dentro dos limites predeterminados ou se durante o período de tempo até à intervenção Condicionada seguinte se preveja que ele venha a falhar. No caso contrário, mantém-se o componente no sistema.

3.3 MANUTENÇÃO CENTRADA NA FIABILIDADE – A ANÁLISE RAMS

3.3.1 INTRODUÇÃO

A elevada competitividade que se verifica dentro da indústria actual implica uma crescente preocupação no desenvolvimento de produtos com um máximo de qualidade e rapidez. No entanto, estes conceitos ficam comprometidos pelos custos tradicionalmente associados, e que de uma forma geral estão fortemente dependentes dos processos de fabrico utilizados.

A civilização em crescimento impõe padrões de vida em que a segurança, fiabilidade e disponibilidade dos equipamentos são variáveis altamente relevantes e que devem ser tidas em conta durante todo o ciclo de vida de um produto ou equipamento. Como resultado, acresce a necessidade de se estabelecerem planos de manutenção e técnicas de controlo de condição adequadas a garantir o desempenho óptimo dos equipamentos e produtos, garantindo tempos reduzidos de paragem e custos mínimos de fácil previsão.

Uma metodologia em crescente divulgação, denominada de RAMS, tem vindo a ser utilizada na indústria aeroespacial e militar com bastante sucesso, estando a decorrer presentemente a sua aplicação ao Metropolitano do Porto. Como já foi visto, o acrónimo inglês RAMS traduz o processo de cálculo conjunto de Fiabilidade (*R-Reliability*), Disponibilidade (*A-Availability*), Manutibilidade (*M-Maintainability*) e Segurança (*S-Safety*), que é utilizado para definir o desempenho dos equipamentos ao longo do seu ciclo de vida.

Com o conhecimento profundo dos equipamentos, e atendendo às exigências impostas pelo mercado (condicionantes que afectam principalmente a fiabilidade e disponibilidade dos equipamentos), é possível aplicar-se a metodologia RAMS, estabelecendo-se planos de manutenção Preventiva e Correctiva centrados na fiabilidade, bem como técnicas de Controlo de Condição adequadas. O objectivo final é o de avaliar o Custo do Ciclo de Vida¹³ (LCC) dos equipamentos.

O plano RAMS pode ser concretizado através de diferentes sistemas de modelação, que em conjunto gerem a informação disponível e conduzem a resultados de Fiabilidade, Disponibilidade, Manutibilidade e Segurança que permitem nortear as opções construtivas e de exploração desejadas.

O tempo de funcionamento antes da paragem para manutenção não é constante, varia de situação para situação, tanto por causa do regime de operação da máquina como pela variação das condições ambientais em que ela trabalha. Se, numa situação típica, traçarmos um gráfico (Fig. 91) de eixos cartesianos onde as ordenadas representam o número de paragens por avaria e as abcissas os tempos desde o início do funcionamento da máquina nova (ou desde que ela foi sujeita a uma revisão que a reconduziu ao estado de nova), obteremos uma curva de distribuição normal que começa em A, tempo mínimo durante o qual não se verificam paragens por avaria, acaba em C, tempo máximo registado antes que ocorra uma avaria, em que o ponto B assinalará o tempo médio de funcionamento entre paragens por avaria. Imediatamente se deduz que o tempo OA representará o intervalo seguro entre as intervenções da manutenção preventiva, ou seja, o intervalo que respeitado pode evitar as avarias [2].

¹³ O acrónimo inglês LCC (*Life Cost Cycle*) é normalmente utilizado para descrever o Custo de Ciclo de Vida dos equipamentos.

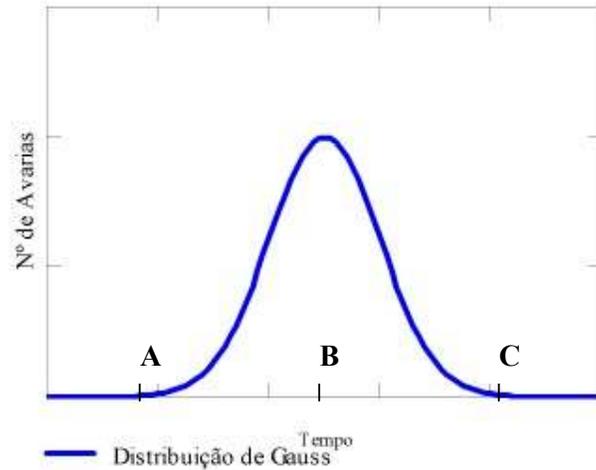


Fig. 91 Distribuição típica de avarias

A distribuição normal Gaussiana é o modelo clássico para o estudo das avarias devidas ao enfraquecimento mecânico que nas máquinas é resultado de processos dependentes do tempo, tais como a corrosão e o desgaste. Também a distribuição exponencial e a distribuição rectangular (Fig. 92) são modelos que descrevem períodos particulares da vida das máquinas: o primeiro está associado com as avarias dos primeiros tempos da máquina nova e o segundo expressa as avarias de “azar”, resultantes da combinação e circunstâncias fortuitas [2].

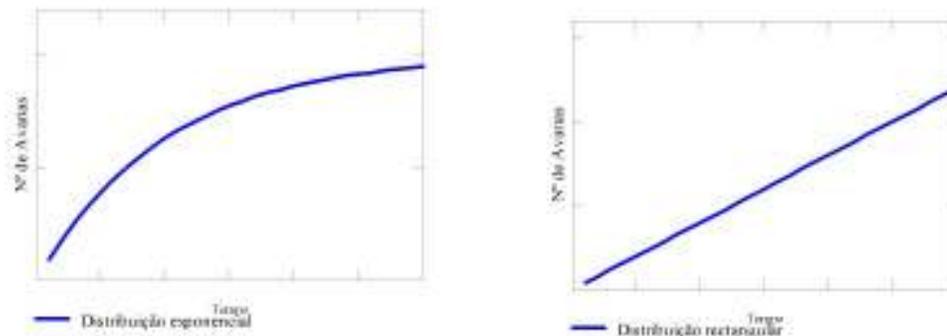


Fig. 92 Distribuição exponencial e rectangular

Ao bom sistema de manutenção exige-se que detecte as avarias com a antecedência suficiente que permita planear e preparar a sua reparação. Quando os referidos sistemas operam na base tempo procura-se resolver o problema programando paragens periódicas das máquinas para efeitos de abertura, inspeção e restabelecimento dos parâmetros originais de funcionamento, antes que ocorram avarias frequentes ou antes que as deficiências menores se desenvolvam. No entanto, se retomarmos as funções de distribuição apresentadas atrás, e relembarmos as situações em que elas se aplicam, pode observar-se que através da manutenção programada não é possível eliminar, devido à sua natureza, as avarias iniciais expressas na distribuição exponencial nem as avarias traduzidas na distribuição rectangular. Também, a previsão das avarias avaliadas pela

distribuição gaussiana normal, devido aos grandes desvios-padrão normalmente em jogo, tem pouca fiabilidade [2].

Assim, o sucesso da manutenção preventiva de base tempo (periódica) está seriamente limitado sempre que se considerem as funções de distribuição das avarias, porque em termos práticos conduz a situações anti-económicas como as de se abrir uma máquina antes que seja necessário ou de a avaria acontecer antes da intervenção de manutenção [2].

3.3.2 FIABILIDADE

Pode-se definir Fiabilidade [4] como sendo a *probabilidade de um item (componente, equipamento ou sistema) funcionar satisfatoriamente durante um certo intervalo de tempo sob condições especificadas*.

De acordo com a teoria frequencista de probabilidade pode-se dizer que a probabilidade de um componente sobreviver ao instante t (Fiabilidade) é de [5]:

$$R(t) = \Pr(T > t) = \frac{N_x(t)}{N_o} \quad (1)$$

em que N_o é o número total de componentes constituintes de uma amostra, $N_s(t)$ é o número de componentes que sobrevivem em cada instante, \Pr representa a função probabilidade e T é a variável aleatória que representa o tempo¹⁴ de falha de um determinado componente.

De forma análoga, a probabilidade de não sobreviver, i.e., de falhar ou ter uma avaria até ao instante t (Infiabilidade) é de

$$F(t) = \Pr(T \leq t) = 1 - \frac{N_s(t)}{N_o} = 1 - R(t) \quad (2)$$

De acordo com (2), a expressão (1) pode ser reescrita na forma:

$$R(t) = 1 - F(t) \quad (3)$$

ao que se chama **Função de Sobrevivência** ou **Função de Fiabilidade**. Desta relação conclui-se ainda que

¹⁴ A palavra *tempo* é aqui utilizada num sentido mais amplo do que o habitual; refere-se a tempo real ou operacional, mas também a qualquer variável não negativa, como, por exemplo, o número de quilómetros percorridos até ocorrer a falha.

$$F(t) + R(t) = 1 \quad (4)$$

o que traduz o facto das situações de sobrevivência e de falha serem incompatíveis ou mutuamente exclusivas (Fig. 93).

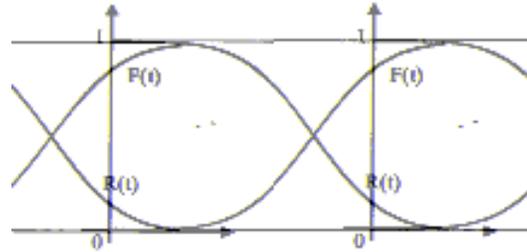


Fig. 93 Curvas das funções $F(t)$ e $R(t)$

3.3.3 TAXA DE AVARIAS

A Taxa de Avarias, ou Função de Risco, pode ser definida como sendo *a taxa à qual os componentes estão a falhar por unidade de tempo, no momento t , em relação ao número de componentes sobreviventes até t* [4]. Corresponde à probabilidade do equipamento falhar no próximo intervalo de tempo, assumindo que está bom no início do intervalo, e exprime a relação

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (5)$$

em que $R(t)$ é a fiabilidade definida em 3.3.2 e $f(t)$ é a função distribuição de densidade ou a frequência de falhas (percentagem de componentes que estão a falhar por unidade de tempo, relativamente ao total, no instante t). A taxa de falhas pode-se exprimir em [nº falhas/unidade de tempo] ou em [nº falhas/unidades de consumo].

Antes de traçar as curvas que representam a taxa de avarias $\lambda(t)$ e a função distribuição de densidade $f(t)$, torna-se necessário introduzir os tipos de avarias que se consideram em função do período temporal em que se enquadra o componente.

Com efeito, consideram-se três tipos de avarias: avarias infantis, avarias de desgaste e avarias durante a vida útil.

As avarias infantis surgem nos primeiros tempos de vida (juventude do equipamento) e são causadas por deficiências de fabrico (na fase de produção) e devidas a um controlo de qualidade insuficiente. Este tipo de avaria pode ser evitado aumentando o controlo de fabrico e submetendo os componentes a ensaios apropriados antes da entrada em funcionamento.

As avarias de desgaste surgem na última fase da vida do componente (período de obsolescência). É devida ao envelhecimento do componente e segue uma distribuição normal. Este tipo de avaria pode ser evitado utilizando um plano de Manutenção Preventiva adequado.

No que diz respeito às avarias durante a vida útil (maturidade do equipamento), estas surgem na fase de estabilização do componente. São avarias que ocorrem aleatoriamente, mas no seu conjunto têm uma frequência de ocorrência constante. Seguem uma distribuição exponencial negativa. Este tipo de avaria é o mais difícil de evitar, sendo aqui que as técnicas de fiabilidade permitem reduzir a probabilidade da sua ocorrência.

Voltando à expressão (5) para a taxa de falhas, designada por **função de risco** ou **força de mortalidade**, esta caracteriza a transição do estado operacional do componente para o estado de falha (avaria), em que $\lambda(t)$ é uma taxa relativa, i.e., é a taxa à qual os componentes falham no instante t , em relação ao número de componentes sobreviventes. Integrando ambos os membros, e após alguma manipulação matemática simples, obtém-se a seguinte expressão para a infiabilidade como função da taxa de falhas:

$$F(t) = 1 - e^{-\int_0^t \lambda(t) dt} \quad (6)$$

pelo que, de acordo com (3),

$$R(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t) dt} \quad (7)$$

e, de acordo com (5) novamente,

$$R(t) = \int_t^{\infty} f(t) dt \quad (8)$$

Num grande número de sistemas ou componentes a função $\lambda(t)$ tem como gráfico a conhecida curva da banheira como ilustra a Fig. 94. Isto deve-se ao facto dos componentes de baixa fiabilidade falharem cedo, deixando como sobreviventes componentes de alta qualidade que tenderão a ter uma taxa de avarias baixa e estável (praticamente constante) durante um certo período da sua vida útil, até ao início do período de desgaste onde a taxa de avarias se torna acentuadamente crescente.

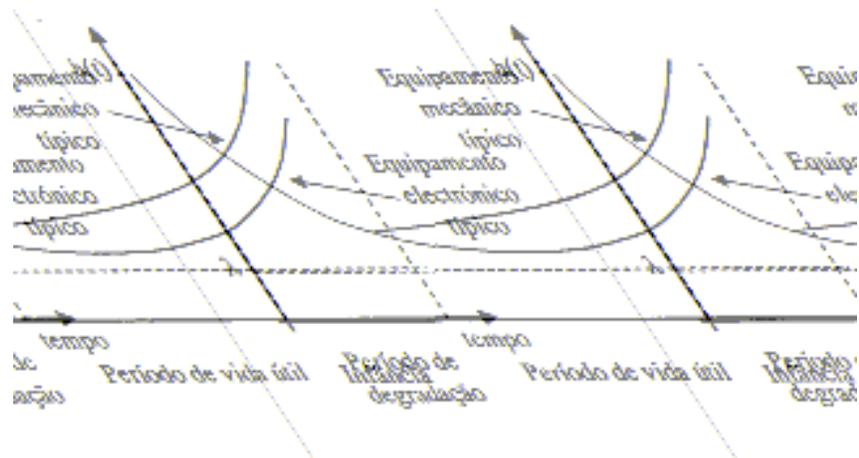


Fig. 94 A "Curva da Banheira"

3.3.4 DISTRIBUIÇÕES MAIS USADAS EM FIABILIDADE

As distribuições mais utilizadas na teoria da fiabilidade são:

- Distribuições Discretas:
 - Distribuição de Poisson;
 - Distribuição Binomial;
 - Distribuição Hipergeométrica;
- Distribuições Contínuas:
 - Distribuição Exponencial;
 - Distribuição Normal;
 - Distribuição de Weibull.

As distribuições contínuas, por serem as que têm demonstrado ter maior aplicação prática, são as que serão estudadas doravante.

3.3.4.1 DISTRIBUIÇÃO EXPONENCIAL

A função de densidade de distribuição exponencial (Fig. 95) é

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad (9)$$

em que as funções de fiabilidade (Fig. 96) e de risco (Fig. 97) são respectivamente:

$$R(t) = \Pr(T > t) = e^{-\lambda t}$$

$$\lambda(t) = \lambda = \text{constante}$$
(10)

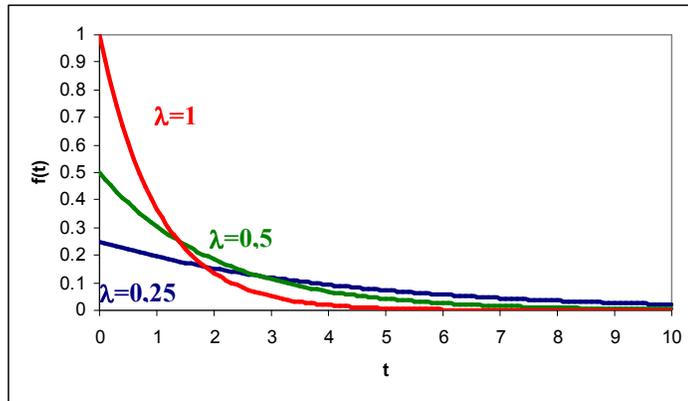


Fig. 95 Função de Densidade Exponencial

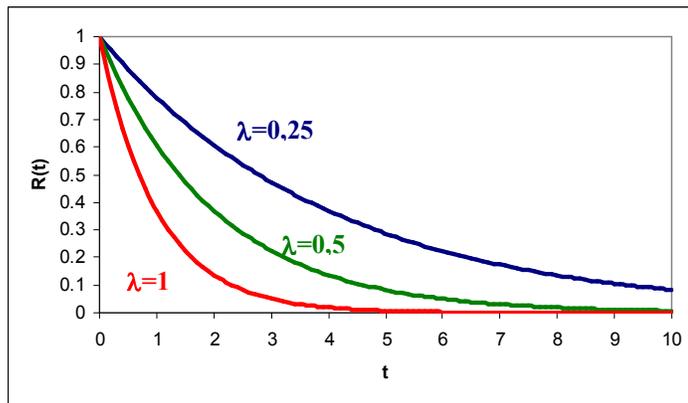


Fig. 96 Função de Fiabilidade Exponencial

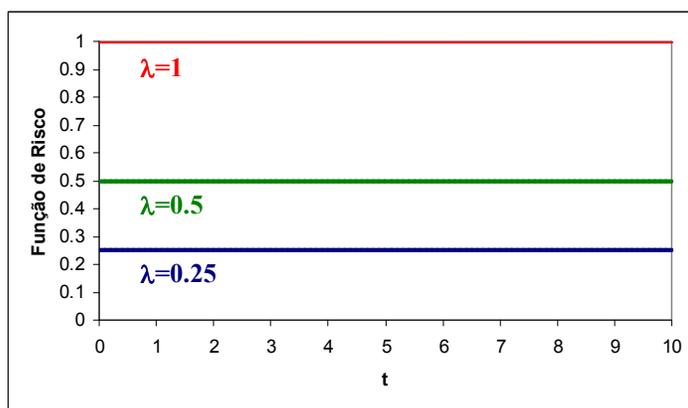


Fig. 97 Função de Risco Exponencial

3.3.4.2 DISTRIBUIÇÃO NORMAL

Esta distribuição de grande importância, quer na teoria das probabilidades quer na estatística, tem também larga aplicação prática. Existem, por exemplo, muitos componentes mecânicos cujo tempo de falha pode ser descrito por uma distribuição normal.

Ao contrário de outras distribuições contínuas, não é possível exprimir a função de fiabilidade nem a função de risco da distribuição normal através de uma expressão analítica elementar. A função de in fiabilidade é neste caso dada por

$$F(t) = \Pr(T \leq t) = \int_{-\infty}^t \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\tau-\mu}{\sigma}\right)^2} d\tau \quad (11)$$

onde μ e σ são, respectivamente, a média e o desvio padrão da variável aleatória T .

Demonstra-se que, se T é uma variável aleatória de uma distribuição Normal, $T \sim N(\mu, \sigma)$, a variável transformada

$$Z = \frac{T - \mu}{\sigma} \quad (12)$$

tem também uma distribuição Normal de média 0 e desvio padrão 1, i.e., $T \sim N(0, 1)$. Este resultado é particularmente importante pois a função de distribuição normal com $\mu=0$ e $\sigma=1$ encontra-se largamente tabelada. É a chamada distribuição normal estandardizada ou padronizada. Neste caso, a função distribuição é habitualmente representada pela letra Φ , e é dada por

$$\Phi = F(t) = \int_{-\infty}^t \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{z^2}{2}} dz \quad (13)$$

Através do conhecimento de (13), e utilizando as expressões (3), (8) e (5) traçam-se respectivamente as funções de fiabilidade, densidade e risco normais.

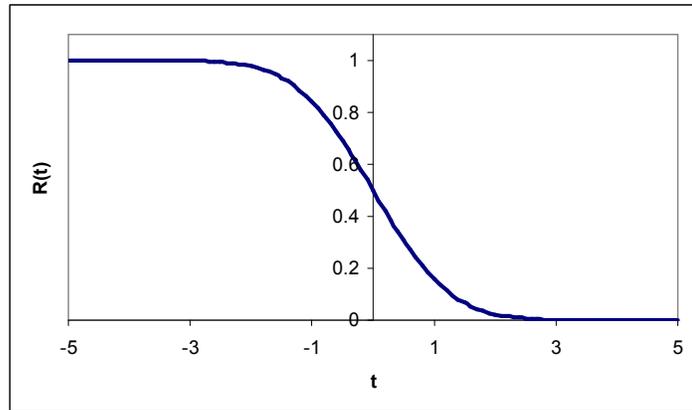


Fig. 98 Função de Fiabilidade Normal ($T \sim N(0, 1)$)

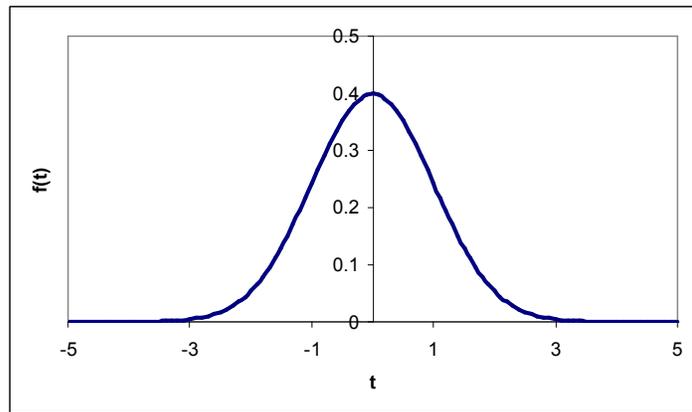


Fig. 99 Função de Densidade Normal ($T \sim N(0, 1)$)

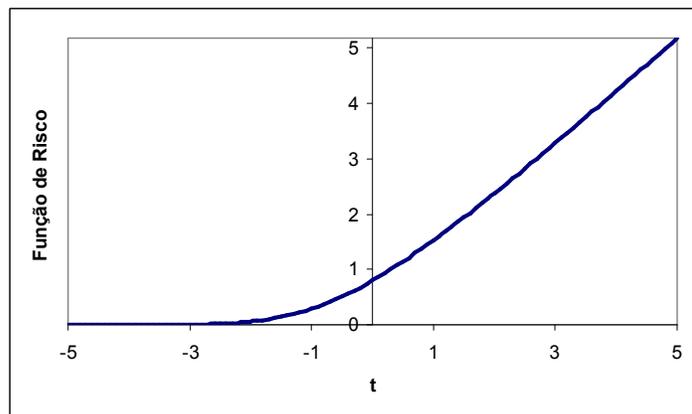


Fig. 100 Função de Risco Normal ($T \sim N(0, 1)$)

3.3.4.3 DISTRIBUIÇÃO DE WEIBULL

A distribuição de Weibull é uma distribuição de falhas que tem demonstrado ser aplicável a um grande número de situações. A função de densidade desta distribuição pode ser escrita na forma:

$$f(t) = \frac{\alpha}{\beta} \left(\frac{t-\tau}{\beta} \right)^{\alpha-1} e^{-\left(\frac{t-\tau}{\beta}\right)^\alpha} \quad (14)$$

com $\alpha > 0$, $\beta > 0$ e $0 \leq \tau \leq t < \infty$.

Esta função depende naturalmente dos valores dos parâmetros α , β e τ . Pela análise das Fig. 101, Fig. 102 e Fig. 103, vê-se que α é um parâmetro de forma (Fig. 101), β é um parâmetro de escala conhecido como vida característica (Fig. 102) e τ é simplesmente um parâmetro de localização que corresponde ao valor inferior de t (Fig. 103).

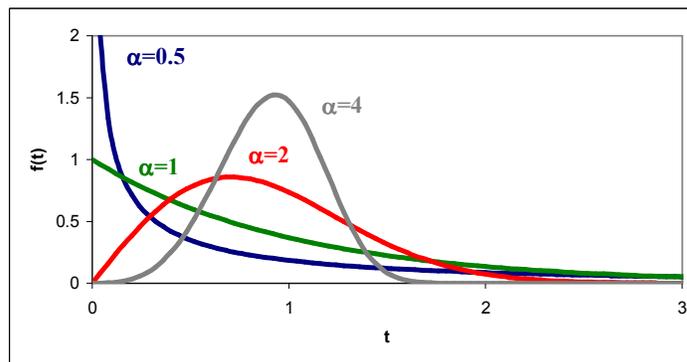


Fig. 101 Função de Densidade de Weibull, com α variável, $\beta=1$ e $\tau=0$

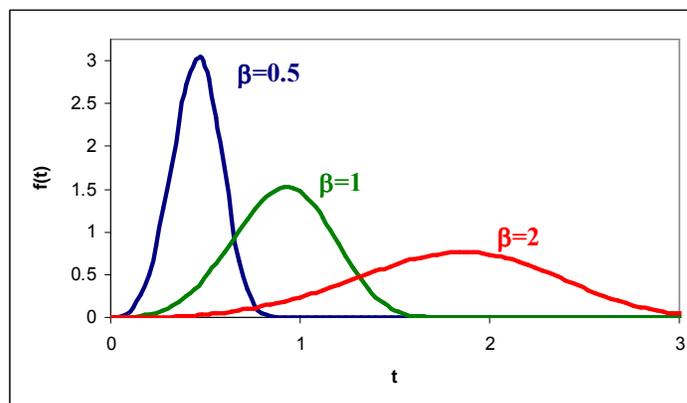
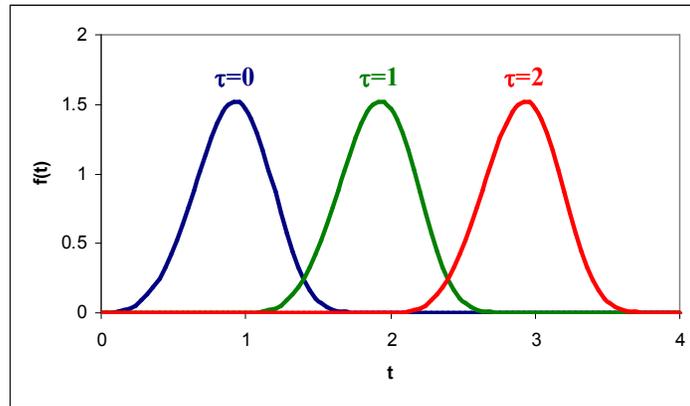


Fig. 102 Função de Densidade de Weibull com β variável, $\alpha=4$ e $\tau=0$

Fig. 103 Função de Densidade de Weibull com τ variável, $\alpha=4$ e $\beta=1$

Um caso particular da distribuição de Weibull é obtido quando $\alpha=1$ e $\tau=0$; trata-se da distribuição exponencial

$$f(t) = \frac{1}{\beta} e^{-\frac{t}{\beta}} \quad (15)$$

com função de risco $\lambda(t) = \frac{1}{\beta} = \text{constante}$.

Além disto, é ainda importante referir que à medida que o parâmetro α aumenta a distribuição de Weibull tende para a distribuição Normal.

Conforme é referido em as aplicações do modelo de Weibull tornam-se mais claras analisando a função de risco respectiva

$$\lambda(t) = \frac{\alpha}{\beta} \left(\frac{t-\tau}{\beta} \right)^{\alpha-1} \quad (16)$$

que se encontra representada, para diferentes valores de α , na Fig. 104.

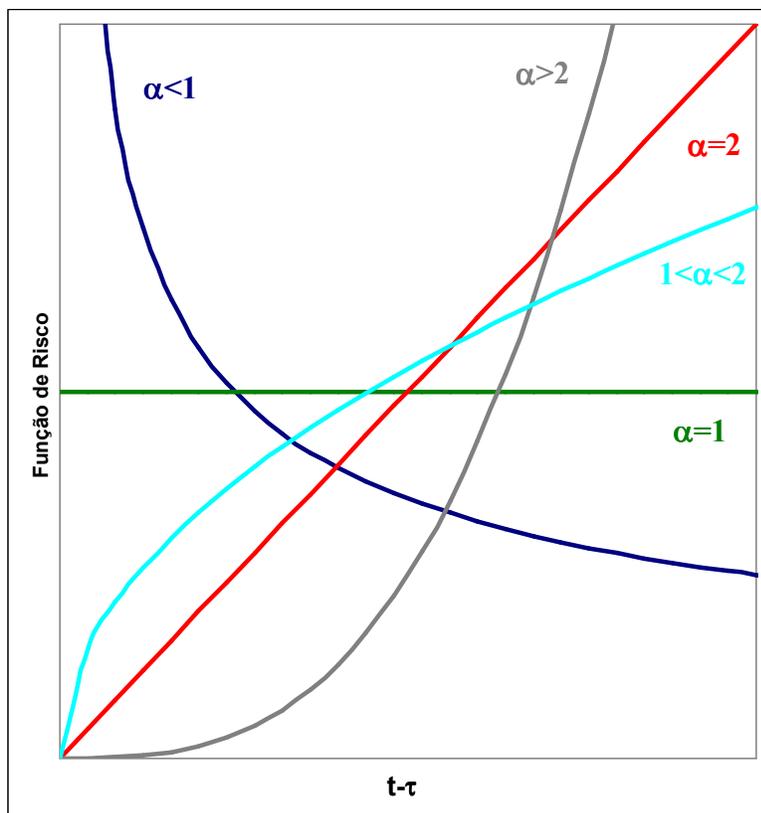


Fig. 104 Função de Risco da Distribuição de Weibull com α variável

Isto significa que o modelo de Weibull é adequado para ajustar quaisquer dados em que a probabilidade de falha $\lambda(t)$ seja uma potência do tempo.

Finalmente, através de (5), traça-se a função de fiabilidade de Weibull (Fig. 105).

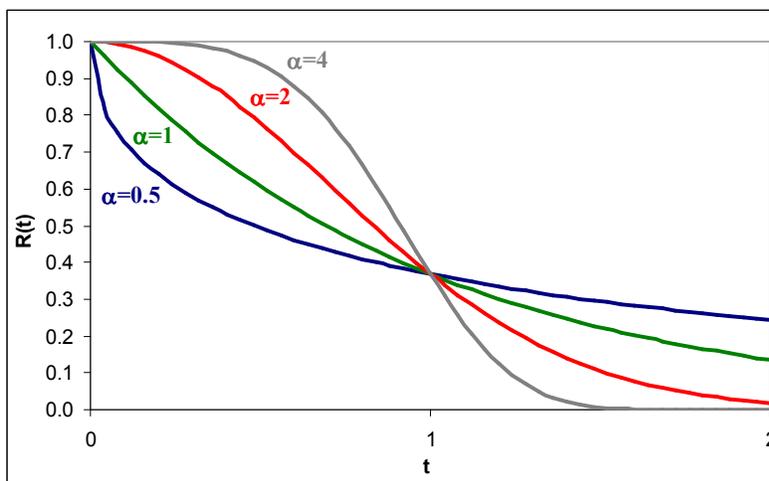


Fig. 105 Função de Fiabilidade de Weibull com α variável, $\beta=1$ e $\tau=0$

3.3.5 O TEMPO MÉDIO DE FALHA (MTBF)

Um índice de fiabilidade de grande importância é o Tempo Médio de Falha (MTBF – *Mean Time Between Failures*)¹⁵. Matematicamente, é definido como o valor esperado (esperança matemática¹⁶) da variável aleatória representa o tempo operacional desse equipamento,

$$MTBF = \int_0^{+\infty} tf(t)dt \quad (17)$$

Tendo em conta a relação (8), e após alguma manipulação, obtém-se

$$MTBF = \int_0^{+\infty} R(t)dt \quad (18)$$

Analise-se um caso particular da função de risco (taxa de avarias). Se $\lambda(t)=\lambda$ é uma função constante, então a função de sobrevivência é

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

e a respectiva função de densidade é

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

pelo que se está no caso da distribuição de vida exponencial, i.e., as duas últimas expressões são respectivamente as equações (10) e (9). A distribuição exponencial corresponde a um não envelhecimento, e como é referido em [5] é um bom ponto de partida para a modelação em fiabilidade. Neste caso,

$$MTBF = \int_0^{+\infty} e^{-\lambda t} dt = \frac{1}{\lambda} \quad (19)$$

Isto significa que, no caso da taxa de avarias ser constante, o tempo médio de falha é simplesmente o seu inverso aritmético. Este resultado é utilizado frequentemente quando

¹⁵ O MTBF é também conhecido como MTTF – *Mean Time To Failure*.

¹⁶ A esperança matemática de uma variável aleatória X contínua é definida por $\int_{-\infty}^{+\infty} xf(x)dx$ onde $f(x)$ representa a função de densidade de probabilidade da variável aleatória.

se pretende estimar o *MTBF* sem ser necessário recorrer a modelações matemáticas mais complexas tais como as vistas anteriormente.

3.3.6 O TEMPO MÉDIO DE REPARAÇÃO (MTTR)

Os parâmetros que caracterizam o processo de reparação de um componente podem ser obtidos de forma análoga ao processo de falha. Observe-se a Fig. 106

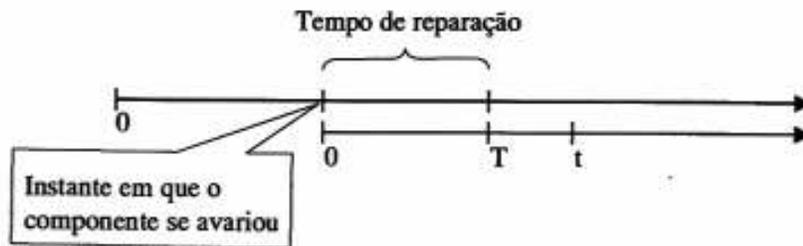


Fig. 106 Processo de reparação de um componente

Seja T a variável aleatória que representa o tempo de reparação de um componente. A probabilidade de ser reparado no intervalo de tempo $[0, t]$ é igual a

$$G(t) = \Pr(T \leq t) \quad (20)$$

e representa a função de distribuição de T .

Admitindo também que T é uma variável aleatória contínua, a sua função de densidade $g(t)$, designada por função de densidade de reparação, será dada por

$$g(t) = \frac{dG(t)}{dt} \quad (21)$$

Assim, a função que caracteriza a transição do estado de falha do componente para o seu estado operacional é

$$\mu(t) = \frac{g(t)}{1 - G(t)} \quad (22)$$

A função (22) representa a taxa à qual os componentes são reparados no instante t , em relação ao número de componentes avariados. Integrando ambos os membros, e através do conhecimento de algumas relações, obtém-se finalmente

$$G(t) = 1 - e^{-\int_0^t \mu(t) dt} \quad (23)$$

Está-se agora em condições de introduzir o conceito do Tempo Médio de Reparação (*MTTR – Mean Time To Repair*) que não é mais do que esperança matemática de T dada por

$$MTTR = \int_0^{+\infty} t g(t) dt \quad (24)$$

Se a taxa de reparação for constante, i.e., $\mu(t) = \mu$, então de (22), (23) e (24) resulta que o tempo médio de reparação $MTTR$ é o inverso aritmético da taxa de reparação

$$MTTR = \frac{1}{\mu} \quad (25)$$

3.3.7 O PROCESSO COMPLETO DE REPARAÇÃO-FALHA-REPARAÇÃO

Até agora, os processos de falha e reparação foram considerados em separado. É no entanto claro que, os processos que consistem em repetições de acontecimentos reparação-falha e falha-reparação, são de grande importância. Suponha-se, então, que um componente se encontra no estado *good as new* no instante zero¹⁷. Para qualquer instante t poderão ter ocorrido uma sucessão de falhas e reparações como ilustra a Fig. 107.

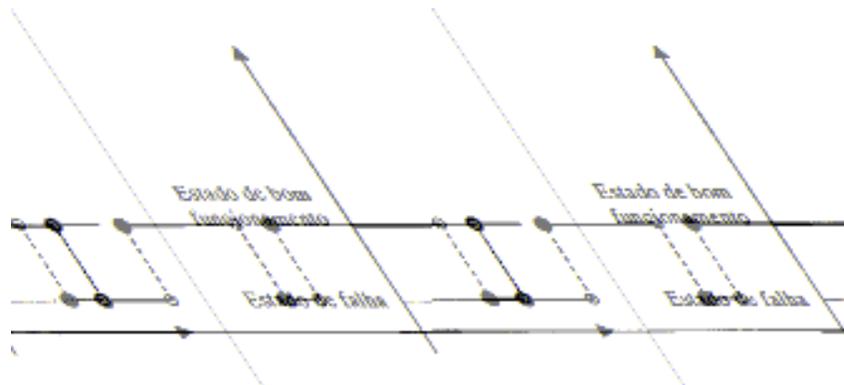


Fig. 107 Histórico de estados de um componente

Para descrever este tipo de processo, e para que se possa introduzir o conceito de disponibilidade (secção 3.3.8) de forma clara, ter-se-ão que definir um conjunto de parâmetros estatísticos. Define-se Intensidade Incondicional de Falha, $\omega(t)$, como sendo a

¹⁷ Daqui em diante admitir-se-á sempre esta hipótese como verdadeira.

probabilidade de um componente falhar no instante t , por unidade de tempo, sabendo que estava operacional (*good as new*) no instante $t=0$.

O Número Esperado de Falhas num intervalo $[t_0, t_1[$, $W(t_0, t_1)$, sabendo que o componente funcionava no instante inicial, é definido por

$$W(t_0, t_1) = \int_{t_0}^{t_1} \omega(t) dt \quad (26)$$

De forma análoga, define-se Intensidade Incondicional de Reparação $\nu(t)$, como sendo a probabilidade de um componente ser reparado no instante t , por unidade de tempo, sabendo que estava operacional no instante $t=0$.

O Número Esperado de Reparações no intervalo $[t_0, t_1[$, $V(t_0, t_1)$, sabendo que o componente funcionava no instante inicial, é pode ser dado por

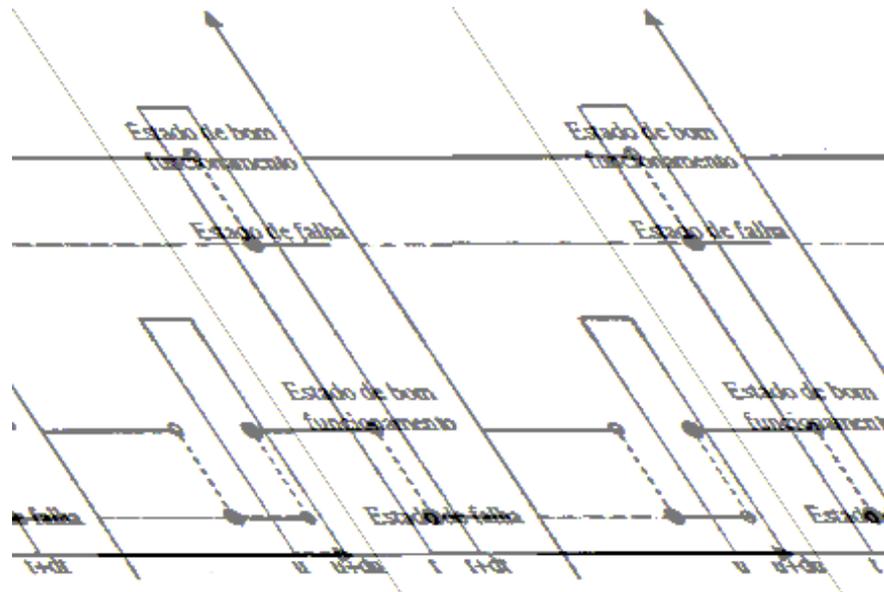
$$V(t_0, t_1) = \int_{t_0}^{t_1} \nu(t) dt \quad (27)$$

3.3.8 DISPONIBILIDADE

A Disponibilidade de um componente é um dos conceitos de maior importância para a análise dos processos acerca dos quais se tem estado a falar. Define-se Disponibilidade de um componente, $A(t)$, como sendo a probabilidade de esse componente estar no estado operacional no instante t condicionada ao facto de se encontrar no estado “good as new” no instante zero. Analogamente aos conceitos de fiabilidade e infiabilidade, a Indisponibilidade, $Q(t)$, é, naturalmente, a probabilidade de estar no estado de falha no instante t . Destas duas definições resulta que

$$A(t) = 1 - Q(t) \quad (28)$$

Observe-se a Fig. 108.

Fig. 108 Avaria de um componente no intervalo $[t, t+dt]$

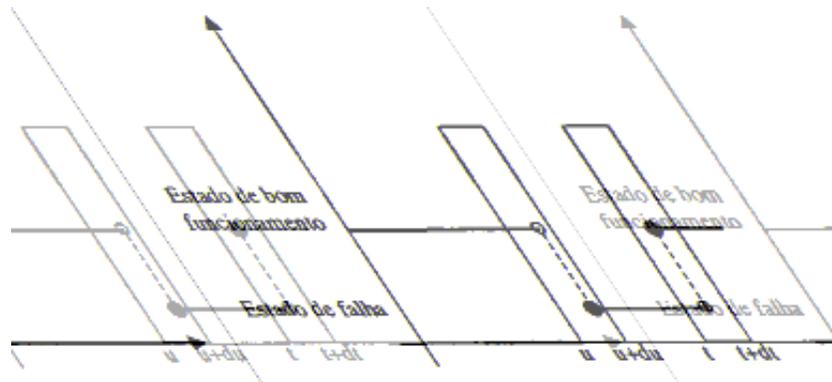
A falha de um componente no intervalo $[t, t+dt]$ pode ocorrer de duas formas:

- o componente foi reparado no intervalo $[u, u+du]$, esteve em funcionamento normal até ao instante t e avariou no intervalo $[t, t+dt]$. A probabilidade deste acontecimento é $v(u)du \cdot f(t-u)dt$;
- o componente esteve em funcionamento normal desde o instante zero até ao instante t e avariou no intervalo $[t, t+dt]$. A probabilidade deste acontecimento é $f(t)dt$.

Então, a probabilidade de um componente falhar no intervalo $[t, t+dt]$ é

$$\omega(t) = f(t) + \int_0^t v(u)f(t-u)du \quad (29)$$

A reparação de um componente no intervalo $[t, t+dt]$, por seu lado, só pode ocorrer se o componente teve uma falha no intervalo $[u, u+du]$, manteve-se avariado até ao instante t e foi reparado durante $[t, t+dt]$. A Fig. 109 ilustra esta situação.

Fig. 109 Reparação de um componente no intervalo $[t, t+dt]$

A probabilidade deste acontecimento é

$$v(t) = \int_0^t \omega(u)g(t-u)du \quad (30)$$

pelos que o sistema de equações constituído por (29) e (30) define as intensidades incondicionais de falha e reparação. A resolução deste sistema requer o conhecimento das densidades de falha e de reparação, $f(t)$ e $g(t)$, respectivamente. A utilização de transformadas de Laplace permite obter em certos casos uma solução exacta do sistema. Quando tal não é possível, a utilização de métodos numéricos é uma alternativa viável.

Finalmente, está-se em condições de calcular a Indisponibilidade. O processo matemático para se chegar à sua forma é dispensável neste texto, pelo que se apresenta de seguida o resultado a que se chega

$$Q(t) = \int_0^t [\omega(u) - v(u)]du \quad (31)$$

Demonstra-se ainda que, no caso de um componente com taxas de avaria e reparação exponencial, de parâmetros λ e μ , respectivamente, a Indisponibilidade toma a forma

$$Q(t) = \frac{\lambda}{\lambda + \mu} \{1 - e^{-(\lambda + \mu)t}\} \quad (32)$$

O conhecimento da Disponibilidade é agora trivial pois resulta da relação (28). Resta referir que, a Disponibilidade pode ainda ser calculada empiricamente como sendo a razão entre o tempo em que o componente está operacional e o tempo total de vida por [4]:

$$A(t) = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (33)$$

3.4 COMENTÁRIOS FINAIS

As secções anteriores do presente capítulo (cap. 3), embora abordados de forma introdutória, englobam os aspectos fundamentais que são necessários considerar aquando da implementação de um sistema de manutenção adequado. Contudo, a chamada Análise RAMS ainda não está totalmente definida. O autor considera que, a correcta percepção do seu conceito será adquirida no decorrer dos capítulos que se seguem.

É ainda importante mencionar que, as secções anteriores estão intimamente relacionadas. Para se conseguir implementar um bom sistema de manutenção é necessário respeitar os requisitos de fiabilidade, e para que os requisitos de fiabilidade seja cumpridos é essencial planificar de forma adequada a função manutenção, tanto a nível preventivo como a nível correctivo. No fundo, há um compromisso entre ambas as partes.

Do ponto de vista do rigor matemático, há um aspecto que deve ser focado e que foi omitido na secção 3.4 e que diz respeito ao conceito introduzido acerca da taxa de falhas ou função de risco. Em [5] faz-se uma distinção entre função de risco e probabilidade condicional de falha, conceito que havia sido omitido, ou pelo menos não foi abordado de forma explícita¹⁸. É feito o seguinte comentário acerca da diferenciação entre ambos os conceitos de probabilidade condicional de falha e função de risco:

“(...) define-se também intensidade condicional de falha, $\lambda(t)$, como a probabilidade de um componente falhar no instante t , por unidade de tempo, sabendo que estava operacional no instante inicial e no instante t . Repare-se que, geralmente, $\lambda(t) \neq h(t)$, pois $h(t)$ representa a probabilidade de um componente falhar no instante t , sabendo que estava em funcionamento normal (*good as new*) no instante zero e assim se manteve até t [definição da função de risco]. Apenas para componentes não reparáveis se tem a igualdade $\lambda(t) = h(t)$.”

Repare-se que neste trabalho o postulado tomado foi o oposto, i.e., assumiu-se que $\lambda(t) = h(t)$ para qualquer caso (e por isso apenas se utilizou como símbolo representativo $\lambda(t)$). Isto já havia sido feito, de forma implícita, quando em 3.2 se disse “(...) há sistemas reparáveis e não reparáveis. Este texto vai de encontro esta opinião, dado que considera que todos os sistemas são reparáveis de uma forma ou de outra, (...)”. Este comentário constitui, na opinião do autor do presente trabalho, a fundação do conceito da manutenção, pois:

¹⁸ Na realidade, a inversa também é verdadeira, i.e., chamou-se função de risco aquilo a que se deveria ter chamado de probabilidade condicional de falha, como se verá adiante.

- Quando um componente avaria, recorre-se a uma intervenção de carácter correctivo com o fim de repor a sua fiabilidade total;
- Durante uma intervenção de carácter preventivo, pretende-se e assume-se a aproximação de que se está a repor a fiabilidade total de um componente.

Estas afirmações são discutíveis, dependendo do nível a que se está a falar. Se se quiser discretizar um equipamento até ao seu nível mais baixo (e.g., parafuso), a reposição de um parafuso que tenha sofrido uma fractura (e.g., por fadiga) constitui uma intervenção de carácter correctivo, por substituição de um consumível, em que se repõe a fiabilidade total à entidade parafuso (note-se que são objectos idênticos mas fisicamente distintos). Se no mesmo caso de avaria o planeamento da manutenção considerar um nível mais alto (e.g., um equipamento onde o parafuso se insere entre outros), tal como um tambor de transmissão por correia, a substituição do parafuso veio aumentar a fiabilidade do equipamento, mas sem que seja uma reposição total. Assim, coloca-se a questão de quando considerar $\lambda(t) \neq h(t)$.

Em [5] vem-se no entanto a admitir, numa fase mais prolongada do texto, a situação aqui ilustrada, i.e., que o sistema é reposto no estado *good as new*. Define-se Fiabilidade Simples ou Fiabilidade não Acumulada de um sistema no instante t como sendo a probabilidade desse sistema sobreviver ao instante t , admitindo que o instante inicial de funcionamento foi o instante da última intervenção preventiva que repôs o sistema no estado *good as new*. A Fig. 110 ilustra esta situação para o caso da disponibilidade dada por (32) e (28).

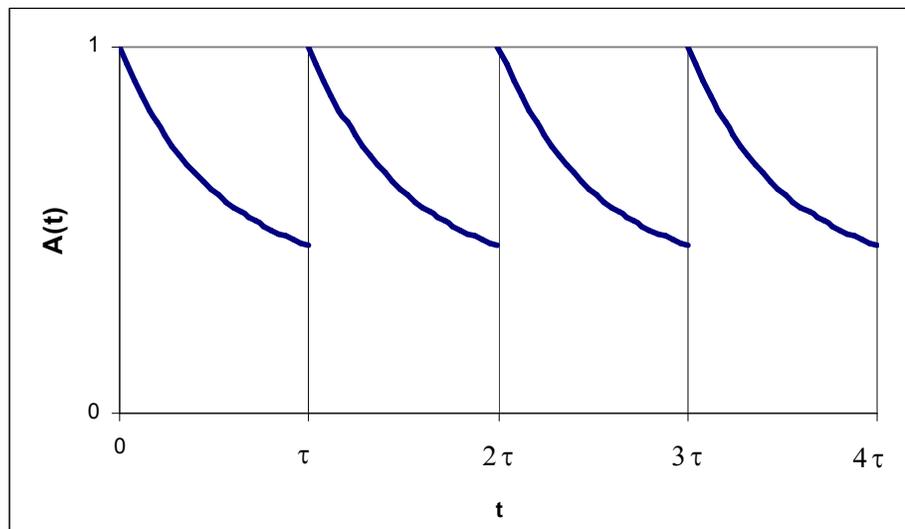


Fig. 110 O efeito da manutenção preventiva na disponibilidade de um sistema

A utilidade deste novo conceito consiste na visualização da probabilidade de falha para o estado actual do sistema, combinando a informação de carácter estatístico com informação sobre o resultado das acções de manutenção preventiva no estado do sistema.

Esta perspectiva corresponde a encarar os sistemas como não tendo memória, o que na óptica da manutenção parece ser uma visão mais realista.

Assim, conclui-se que $\lambda(t)$ ser diferente de $h(t)$ é temporário e dependente da ocorrência de uma avaria e cuja consideração torna o processo de manutenção, ou pelo menos o seu planeamento, demasiadamente complexo. Na tentativa de ilustrar o aspecto da curva da Fig. 110 no caso de ocorrência de avaria no intervalo $[\tau, 2\tau]$, assumindo que a sua correção foi também efectuada nesse intervalo e que não houve reposição total da fiabilidade do equipamento.

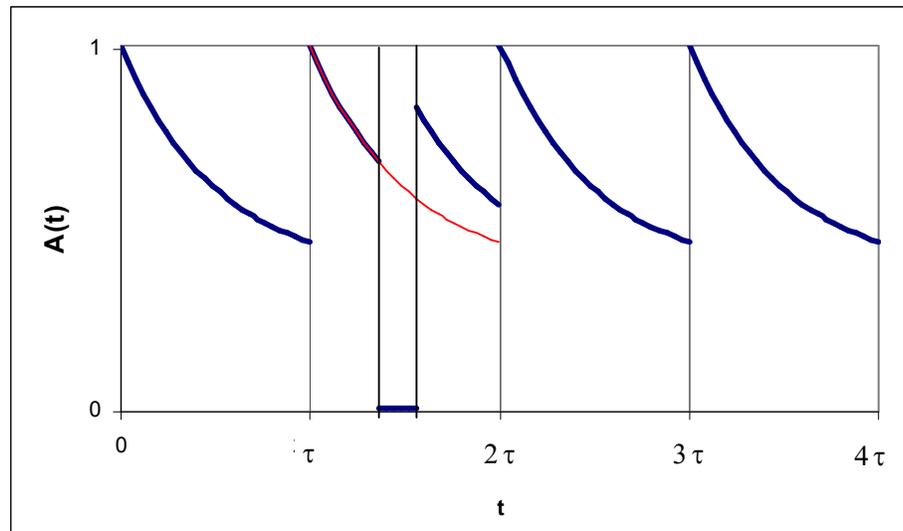


Fig. 111 Efeito de uma avaria e da intervenção de manutenção correctiva na Disponibilidade

Após a ocorrência da avaria, a disponibilidade do equipamento caiu para o seu valor mínimo que corresponde a uma indisponibilidade total (considerando que o componente em falha afectou toda a funcionalidade do equipamento). Durante a intervenção de manutenção correctiva, a Disponibilidade continua nula, a não ser que:

- Existam equipamentos prontos a entrar em substituição do equipamento em avaria;
- Existam sistemas redundantes ao componente em falha.

Não se verificando as situações anteriores, após concluída a intervenção e recolocada a unidade em funcionamento, a disponibilidade pode assumir qualquer valor, desde que seja superior ou coincidente à curva de tendência traçada a encarnado na figura.

De notar ainda que, após a avaria, a intervenção preventiva seguinte realizar-se-á na mesma em $t=3\tau$, descurando o valor da disponibilidade previsto para aquela altura. Isto vem confirmar que a manutenção considera $\lambda(t) = h(t)$, ao contrário do que seria desejado matematicamente. Ademais, nesta situação, pode-se ainda depreender uma vantagem da

manutenção condicionada no que diz respeito ao planeamento: com este tipo de manutenção aplicado ao sistema seria possível analisar se, após tomadas as medidas correctivas adequadas, seria ou não possível adiar a intervenção de carácter preventivo por forma a minimizar custos.

4 APLICAÇÕES INFORMÁTICAS

4.1 INTRODUÇÃO

A envergadura, a dimensão e a complexidade dos sistemas, máquinas e equipamentos utilizados actualmente, obriga a uma gestão da manutenção racional, cuidada e organizada por forma a:

- **Minimizar** tempos de paragem; riscos de segurança; custos de reparação ou de investimento; complexidade da intervenção de manutenção;
- **Optimizar** gestão de materiais, de recursos humanos e de documentação técnica;
- **Maximizar** a operacionalidade e produtividade da empresa; fiabilidade, disponibilidade e tempo de vida útil dos equipamentos;

entre outros factores, todos já citados em 3.3.1

Na realidade, a quantidade de informação a processar é de tal forma densa, que sem a utilização de subterfúgios informáticos seria de extrema complexidade atingir os padrões de qualidade exigidos actualmente para a função manutenção.

Durante o decorrer das actividades do projecto SEM XXI, foram utilizadas duas aplicações informáticas específicas, cujos nomes são:

- WinMac98;
- AvSim+.

Nas secções subsequentes do presente capítulo, serão apresentadas as aplicações informáticas mencionadas introduzindo conceitos que ilustram as suas potencialidades e modo de funcionamento.

4.2 WINMAC98

A aplicação informática WinMac98, concebida e comercializada pelo MIIT, consiste numa base de dados que contém as seguintes funcionalidades:

- Gestão da manutenção nas perspectivas de custos, técnica e de desempenho operacional;
- Gestão de entidades (equipamentos e localizações funcionais);

- Gestão de obras, projectos e intervenções;
- Gestão de materiais e armazéns;
- Gestão de aprovisionamentos e compras;
- Gestão de pessoal;
- Estruturação e organização de trabalho;
- Gestão de contadores e parâmetros.

Trata-se de uma aplicação destinada à gestão de operações que abarca diferentes áreas de gestão (de equipamentos, de intervenções, de materiais, de pessoal, de documentos), áreas que, em muitos casos, extravasam o âmbito da manutenção.

De facto, a necessidade de uma aplicação de gestão da manutenção se integrar no universo do sistema de informação de uma empresa (muitas vezes já quase completamente definido e montado aquando da informatização da manutenção) requer capacidades de interligação tão variáveis que podem exigir que a própria aplicação possua algumas funcionalidades idênticas àquelas com que se vai interligar.

A aplicação de técnicas de gestão como o TPM (*Total Productive Maintenance*) ou o RCM (*Reliability Centered Maintenance*) ou a implementação do controlo de LCC (*Life Cost Cycle*), pressupõe a existência de informação fiável e fidedigna, que, necessariamente, tem de ser recolhida por via de um sistema com fronteiras que ultrapassam a manutenção.

A segurança dos dados requer a existência de um motor de base de dados que permita responder com eficácia e garanta a integridade da informação. Por isso a aplicação WinMac98 suporta base de dados em SQL da SYBASE ou ORACLE. Baseado numa estruturação absolutamente configurável, o WinMac98 permite bastantes graus de liberdade, quer ao nível das codificações (de localização, de entidade, de pessoal, de materiais, de obras, etc.) quer ao nível do reporte dos trabalhos e das obras, permitindo também ligações eficazes com a contabilidade e as funções financeiras, independentemente da plataforma que as suporta.

4.3 AvSIM+

O programa AvSim+ é uma aplicação informática, produzida pela *Item software (Isograph)*, utilizada em cálculos de disponibilidade, fiabilidade e manutibilidade através do método de Monte Carlo para simulação de acontecimentos¹⁹. Os sistemas podem ser descritos na forma de diagrama de blocos (RBD)²⁰ ou em árvore de falhas (FTA)²¹.

¹⁹ Um simulador é um mecanismo que permite reproduzir ou representar em condições experimentais fenómenos prováveis de acontecer em desempenho real; é uma representação imitativa do funcionamento

PÁGINAS 101 A 106 REMOVIDAS

**de modo a preservar a
confidencialidade da informação**

5 PROJECTO SEM XXI

5.1 ESTRATÉGIA DESENVOLVIDA

Embora a empresa MIIT já tivesse à data de início das actividades do Projecto SEM XXI uma experiência larga na área da manutenção, a filosofia a adoptar de acordo com as exigências impostas teria forçosamente que se desviar dos padrões tradicionalistas. A diversidade de entidades em interacção permanente e a forte dependência emergente durante o decorrer das diversas etapas, também contribuiu para que o planeamento estratégico não fosse à partida um dado adquirido.

De facto, o modelo que se ilustrará no decorrer do presente capítulo surge como o culminar de todo o Projecto – é o seu resultado, embora tenha sido alvo de importantes e cuidadas ponderações por parte dos intervenientes durante o decorrer das acções. Poder-se-á levantar a questão do porquê da integração deste capítulo numa fase inicial do trabalho, dado ser o produto final do projecto. O seu aparecimento justifica-se por ser essencial para a compreensão dos documentos que se sucedem, uma vez que serão ilustrados de forma precisa todos os passos efectuados.

Na Fig. 119 está ilustrada a ordem de actividades em que se processou o Projecto SEM XXI no que diz respeito às áreas de intervenção das empresas MIIT e ADtranz Portugal. Esta figura não representa mais do que um conjunto de funções de transferência sucessivas e integradas que se destacam na coluna central, com moldura a azul. Na coluna da esquerda, com moldura a negro, podem-se visualizar as entradas, i.e., o tipo e origem de informação a processar nas diferentes etapas. Após o processamento destes parâmetros pelas ditas funções de transferência, resultam um conjunto de procedimentos cuja denominação se encontra na coluna da direita, com moldura a verde. Pode-se ainda visualizar, através das setas representadas a encarnado, que existe um processo iterativo sistemático que resulta de um dos objectivos principais do projecto – o chamado *redesign*, que surge como consequência do estudo elaborado²².

Importa referir neste documento que a metodologia RAMS, dada a sua importância e vasto domínio de aplicação, integra actualmente o "mundo normativo". A estratégia apresentada anteriormente não surgiu de forma aleatória, estando de acordo com a norma NP EN 50126 (correspondente à versão portuguesa da norma europeia aprovada em 1 de Janeiro de 1998 pelo CENELEC²³ e implementada a 1 de Abril de 2000 a nível nacional acerca de *Aplicações Ferroviárias - A especificação de Fiabilidade, Disponibilidade, Manutibilidade e Segurança (RAMS)*).

²² A iteração representada na figura é de carácter simplista, dado que essa iteração verifica-se ocorrer em qualquer fase do projecto, embora em situações muito pontuais e cuja importância relativa não afectará de forma tão pronunciada o decorrer das tarefas.

²³ Comissão Europeia de Normalização para a Electrotécnica.

PÁGINAS 108 A 174 REMOVIDAS

**de modo a preservar a
confidencialidade da informação**

6 COMENTÁRIOS FINAIS

De uma forma geral, quando se dá início à execução de um projecto, há objectivos que estão directamente relacionados com as actividades *per si*: pretendem-se resultados concretos.

No caso do Projecto SEM XXI, dada a sua natureza inovadora e exclusiva, os objectivos não são uma simples busca de soluções. A meta final é apreender uma metodologia que possa então ser utilizada de forma rigorosa de maneira a produzir, com garantia, resultados válidos. Dessa metodologia resultam procedimentos que se podem consultar no Anexo 20 (na aplicação ao *case study* do Metro do Porto) pela seguinte ordem:

- Estruturação do veículo Metro do Porto;
- Impressos de análise funcional e FMECA;
- Plano RAM – Estruturação do WinMac98 e do ITEM;
- Procedimento de cálculo de disponibilidade;
- Procedimento das preparações de trabalho (WinMac98).

Por vezes surgiram incoerências e dúvidas que poderiam ter sido facilmente contornadas por uma equipa mais experiente. Descrevem-se em seguida alguns dos problemas encontrados e que dificultaram o desencadeamento normal das acções:

- Dificuldade de aquisição de dados devido a, no início do projecto, haver deficiências de comunicação entre os membros do Projecto SEM XXI e a engenharia da empresa ADtranz;
- A relação cliente-fornecedor, que numa filosofia de TQM⁵¹ deveria ser bidireccional e aberta, apresenta várias irregularidades, principalmente porque o fornecedor não dá a importância devida a determinados documentos. Por exemplo, as taxas de falhas cedidas pela Dellner Couplers (engate automático) diferem em dois documentos (enviados no mesmo pacote), *Minim Marvel* e FMECA do fornecedor. A opção, por questões de segurança e para que as condições legais de garantia do produto não sejam prejudicadas, é a de escolher o valor mais alto (fiabilidade inferior). Resta saber qual a veracidade destes valores.

Por outro lado, há valores que são excessivamente baixos. Por exemplo, há TTR's de intervenções preventivas na ordem das 0,001 horas, i.e., 3,6 segundos. Mesmo sendo inspecções visuais que não necessitem de ferramentas especiais ou de ganhar acessos, é questionável qual a veracidade,

⁵¹ O acrónimo anglo-saxónico TQM (Total Quality Management) é utilizado para descrever Gestão para a Qualidade Total.

ou pelo menos utilidade, desta informação no âmbito dos requisitos de fiabilidade e disponibilidade que se pretendem cumprir;

Finalmente, e ainda em relação ao fornecedor do engate, este indica períodos de intervenção preventiva de 26.000 km, que como é fácil verificar, não é múltiplo de 15.000 km. Inicialmente, e por questões de segurança, utilizou-se o valor de 15.000 km. Contudo, após realização da nota de cálculo e tomando como válidos os valores de fiabilidade fornecidos pela Dellner⁵², foi considerado aceitável aumentar o espaço entre intervenções em cerca de 15% do tempo aconselhado, i.e., as intervenções preventivas passaram a ser realizadas aos 30.000 km e não aos 26.000 km.

- A implementação de um comboio completo na aplicação informática AvSim+ é algo de complexo. Por outro lado, os elementos da equipa desconheciam as suas funcionalidades, e tiveram que estudar o programa num período de tempo demasiadamente curto para a correcta adequação da informação. Não se quer com isto dizer que a modelação não tenha sido bem feita. Contudo, as fases de discussão de resultados e conclusões relevantes ficaram seguramente prejudicadas. No entanto, a utilização desta aplicação foi fundamental para a compreensão da iteração entre sistemas e seus efeitos na fiabilidade (pelo suporte visual expedito dos diagramas de blocos), tendo-se ainda compreendido a importância da utilização deste método para a validação de valores de fiabilidade e disponibilidade. Por este motivo, a empresa MIIT irá desencadear acções de formação para que a equipa formada para o Projecto SEM XXI possa evoluir no sentido de desenvolver mais trabalho na área de manutenção centrada na fiabilidade (RAMS);
- O facto do veículo não estar em funcionamento, não permite validar, por enquanto, os resultados obtidos pelo Projecto SEM XXI. Seria de extrema utilidade possuir algumas informações adicionais, tais como, diagramas de Pareto, diagramas de correlação, diagramas de causa-efeito, histogramas e cartas de controlo.

A prova da utilidade deste projecto na concepção de uma metodologia está na sua aplicação ao Incentro e ao CP2000. Embora não se tenha efectuado um estudo tão aprofundado quanto no Metro do Porto, a abordagem a estes projectos foi encarada de forma mais eficiente e, provavelmente, eficaz. Para já, foram produzidos dois relatórios:

- Análise do plano de manutenção do veículo Incentro - Neste documento faz-se uma avaliação do plano de manutenção quanto a tarefas e periodicidades de modo a minimizar os custos, com base nas taxas de falhas e planos de manutenção conhecidos;
- Relatório preliminar sobre a manutibilidade do comboio CP2000 - Neste relatório estudam-se as tarefas de manutenção a executar no CP2000, com o

⁵² Lembre-se que ainda não se possui um histórico dos equipamentos, uma vez que o sistema ainda não entrou em actividade.

intuito de assegurar a sua realização, sem que isso comprometa o desempenho operacional da frota de comboios. Faz-se ainda uma identificação de potenciais problemas relacionados com determinados critérios tais como pré-requisitos das condições oficiais, acessibilidades aos equipamentos, materiais / equipamentos / ferramentas utilizados, bem como os aspectos relativos à segurança;

Houve dois objectivos que não foram concretizados. Um, tem que ver com a análise de segurança, que não foi realizada por falta de informação. Por este motivo, é possível por vezes encontrar-se a designação RAM em vez de RAMS, nos anexos, por omissão do ‘S’ que significa ‘Segurança’. Do mesmo modo, a análise do custo do ciclo de vida (LCC) também não pôde ser efectuada por falta de dados.

No que diz respeito a este trabalho propriamente dito enquanto projecto final de curso de Engenharia Mecânica, está longe de ser um projecto convencional de concepção e dimensionamento. No entanto, a manutenção deve ser considerada como uma ferramenta essencial que acompanha a vida dos equipamentos, desde a sua fase embrionária, perscrutando o desenvolvimento de novas e melhores soluções. Inicialmente, estava previsto que a contribuição do autor incidisse em algum trabalho de ‘campo’, nomeadamente em controlo de condição por análise de vibrações. Tal não foi possível, por diversos motivos, nomeadamente pela orientação do Projecto SEM XXI e pela evolução da engenharia de projecto da ADtranz Portugal.

O Projecto SEM XXI permitiu identificar problemas pertinentes, bem como elevar os padrões de qualidade (*conformance quality*) do veículo Metro do Porto a um patamar nunca antes visto em Portugal.

Finalmente, resta dizer que todo o trabalho desenvolvido e apresentado deve ser encarado na perspectiva de versões preliminares, devido à mutação que ocorre ao longo de todo o ciclo de vida do veículo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Almeida Santos, M., “Sistema Integrado de Exploração e Manutenção”, *FER XXI*, nº 18, Agosto de 1999, pp. 117-122.
- [2] Chedas Sampaio, “Curso de manutenção por controlo de condição”, *Escola Náutica Infante D. Henrique*
- [3] “Introdução à Manutenção Industrial” (desconhecida origem do documento)
- [4] “Manual de Fiabilidade”, *MIIT – Manutenção Industrial Informatizada e Tecnologia, Lda*
- [5] Caldeira Duarte, “Fiabilidade”, Junho de 2000
- [6] Mesquita, R., Henriques, E., “Gestão da Produção I – Engenharia do Produto, Engenharia do Processo”, *Secção de Folhas da AEIST*, 1997
- [7] Henriques, E., Peças, P., “Gestão da Produção II”, *Secção de Folhas da AEIST*, 2001
- [8] “Item Nonelec99”, *AvSim+*

ANEXOS NÃO DISPONÍVEIS EM PDF

Os 20 anexos originais encontram-se em 3 volumes impressos com o equivalente a mais de 400 páginas.

