



Um simulador para apoio à decisão em Gestão da Manutenção de infra-estruturas ferroviárias

Simulação com os activos de Sinalização da Linha do Norte

Pedro Jordão Nogueira de Lemos

Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia e Gestão Industrial

Júri

Presidente: Professor Doutor Norberto Pires
Orientador: Professor Doutor Cristóvão Silva
Vogal: Professor Doutor João Paulo Nobre

Setembro 2009

Agradecimentos

Este trabalho surge como corolário do Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial que segui na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Departamento de Engenharia Mecânica.

Tendo sempre, na minha vida profissional, estado ligado às questões de produção/manutenção, foi com agrado que me propus aplicar os conhecimentos obtidos, na frequência do referido Mestrado na área da Simulação de Operações, a esta área de conhecimento.

Por outro lado o facto de me ter sido disponibilizado o acesso a dados reais da Refer, EPE, empresa onde exerço a minha actividade profissional, permitiu a realização de um trabalho mais rico e com uma clara vertente prática para a própria empresa.

Quero deixar expressos os meus agradecimentos a todos os que me apoiaram, salientando o apoio do Sr. Administrador Eng^o. Alberto Castanho Ribeiro, do Sr. Director-Geral de Planeamento e Estratégia Eng^o António Viana pelo apoio na autorização de frequência do Mestrado, do meu orientador da Tese Professor Doutor Cristóvão Silva pelo apoio sempre esclarecedor durante a elaboração deste trabalho, dos Eng^o Eduardo Frederico, Duarte Pereira, José Rente, Alfredo Matos, Paulo Melo, e dos Srs. João Pires, Luís Andrade e João Almeida pelo apoio e trocas de impressões sobre aspectos de natureza profissional.

Por último e não em último agradeço à minha mulher a paciência de “me ter aturado” durante este dois anos de difícil compatibilização entre a vida profissional, académica e pessoal.

Resumo:

A disponibilidade de dados relativos ao estado da infra-estrutura, que as novas tecnologias provocaram na indústria ferroviária de gestão da infra-estrutura, e a evolução das técnicas de simulação podem levar ao desenvolvimento de simuladores como ferramentas de apoio à decisão na gestão da manutenção em caminhos de ferro.

O uso de simuladores pode ser uma importante ferramenta de avaliação para decisões relacionadas com a substituição de tarefas de natureza preventiva por tarefas de natureza preditiva baseadas no estado dos activos, com a consequente diminuição de custos. Os simuladores podem também ser utilizados como ferramenta na avaliação da performance das equipas de manutenção.

O objectivo deste projecto de tese é a criação de um modelo da Linha do Norte, utilizando os activos de sinalização e os recursos das equipas afectas à sua manutenção, através de uma ferramenta comercial de simulação (Simul8), avaliando a sua utilidade como ferramenta para apoio à decisão em Gestão da Manutenção.

Palavras-chave

Gestão, Manutenção, Simulação, Caminhos-de-ferro, Activos

Abstract:

The availability of data concerning the *status quo* of the infrastructure assets being collected by railways and the evolution of simulation techniques can lead to the use of simulators as decision support tools in maintenance management.

The use of simulators can be an important decision tool when decision making about replacing periodical maintenance tasks by predictive maintenance tasks based on the condition of the asset. It can also be useful in evaluating the results of the different teams that perform maintenance tasks.

The objective of this thesis project is to create a model of the Portuguese Northern Line using signalling assets and maintenance teams using a commercial simulation tool (Simul8) and to evaluate the usability of the model as a support decision tool in maintenance management.

Keywords

Maintenance, Management, Simulation, Railways, Assets

INDICE	
Lista de Figuras.....	vi
Lista de Tabelas.....	vi
Acrónimos.....	vii
1.Introdução.....	1
1.1. Estrutura deste trabalho.....	4
2.Enquadramento.....	4
2.1.Conceito de Manutenção.....	5
2.1.1.Tempos de Bom Funcionamento de um Equipamento e Fiabilidade...7	
2.1.2.Tempos de Reparação de um Equipamento e Manutibilidade.....10	
2.1.3.Disponibilidade de um Equipamento.....11	
2.2.Conceito de Simulação.....	12
2.2.1.Simulação Numérica e sua popularidade.....	12
2.2.2.O Simulador Simul8.....	12
2.3.A REFER, EPE – Rede Ferroviária Nacional.....	14
2.3.1.A Linha do Norte.....	16
2.3.2.Bases de dados da REFER referentes a falhas de equipamentos.....17	
3.Desenvolvimento do Trabalho.....	19
3.1.O tratamento estatístico dos dados (TBF e TTR).....	19
3.1.1. A ferramenta Easyfit.....	20
3.1.2.O critério de Kolmogorov/Smirnov.....	21
3.1.3.Funções de Fiabilidade e Manutibilidade dos Equipamentos.....21	
3.2.Modelo do Gerador de Avarias.....	22
3.2.1.Modelo Simplificado de um sistema de Caminho-de-Ferro.....	22
3.2.2.Modelo de um sistema ferroviário no simulador Simul8.....	23
3.2.3.Parametrização do modelo.....	23
3.2.3.1.Parametrização dos Workcenters.....	23
3.2.3.2.Parametrização das filas de espera.....	24
3.2.3.3.Parametrização dos Workitems.....	24
3.3.Modelo do ciclo anual de manutenção preventiva.....	25
3.3.1. Recursos.....	26
3.3.2.Parametrização do modelo cíclico de manutenção preventiva.....27	
3.4.Modelo Completo da Manutenção de Sinalização da Linha do Norte.....28	
3.4.1.Descrição do funcionamento do modelo completo.....	29
3.4.2.Equipas/Meios.....	29
3.4.3.Ficheiro completo do Simulador.....	30
4.Utilização do modelo e resultados obtidos.....	31
4.1.Limitações do modelo.....	31

4.2. Escolha das corridas a realizar.....	31
4.3. Simulação com o modelo completo.....	32
4.3.1. Corrida simples com dados reais e recursos reais.....	32
4.3.2. Corrida simples sem limites de recursos e dados reais.....	33
4.4. Simulação de uma equipa REFER – o caso Entroncamento.....	34
4.4.1. Descrição da instalação e motivação da sua escolha.....	35
4.4.2. Série de corridas com dados reais e recursos reais.....	36
4.4.3. Série de corridas sem limites de recursos e dados reais.....	36
4.5. Simulação de uma equipa Dimetronic – o caso Aveiro.....	37
4.5.1. Descrição da instalação e motivação da sua escolha.....	37
4.5.2. Série de corridas com dados reais e recursos reais.....	39
4.5.3. Série de corridas sem limites de recursos e dados reais.....	39
4.6. Simulação de uma equipa Thales – o caso Pombal.....	40
4.6.1. Descrição da instalação e motivação da sua escolha.....	40
4.6.2. Série de corridas com dados reais e recursos reais.....	41
4.6.3. Série de corridas sem limites de recursos e dados reais.....	42
5. Análise de resultados.....	43
5.1. Modelo global.....	43
5.2. Comparação de resultados entre os três casos de estudo apresentados.....	46
6. Conclusões.....	48
7. Caminhos possíveis de evolução do simulador e sua aplicabilidade.....	49
8. Referências Bibliográficas.....	50

LISTA DE FIGURAS

- fig.0- Estrutura de custos operacionais
- fig.1- Custos totais de Manutenção
- fig.2 – Histograma e função densidade de probabilidade $f(t)$
- fig.3 – Função distribuição acumulada $F(t)$
- fig.4 – Fiabilidade $R(t)$
- fig.5 – Curva da banheira
- fig.6 – Distribuição de Weibull – Variação de α
- fig.7 – Tempos envolvidos na operação de um sistema
- fig.8 – Tela de entrada para alterar propriedades de um *workcenter*
- fig.9 – Elementos básicos do Simul8
- fig.10 – Telas de configuração para os tempos de simulação
- fig.11 – Ferramenta Easyfit
- fig.12 – Exemplo de ecrã do Easyfit de resultado do teste K/S
- fig.13 – Modelo simplificado de um sistema de caminho-de-ferro
- fig.14 – Modelo em Simul8 de um sistema ferroviário
- fig.15 – Ciclo de manutenção preventiva para um centro de manutenção em Simul8
- fig.16 – Tela de dimensionamento de recursos
- fig.17 – Imagem parcelar do simulador completo
- fig.20 – Tela de introdução dos TTR e recursos necessários para reparação
- fig.21 – Encravamento electromecânico tipo Siemens
- fig.22 – Encravamento electromecânico tipo Jeumont
- fig.23 – Principio de funcionamento SSI
- fig.24 – Interior CCO do Porto
- fig.25 – Principio de funcionamento ESTW
- fig.26 – Interior CCO de Lisboa

TABELAS

- tab.1 – Utilização dos recursos – corrida 1
- tab.2 – Horas/homem por equipa – corrida 1
- tab.3 – Utilização dos recursos – corrida 2
- tab.4 – Horas/homem por equipa – corrida 2
- tab.5 – Utilização dos recursos – corrida 3
- tab.6 – Cumprimento dos planos de manutenção preventiva – corrida 3
- tab.7 – Utilização dos recursos – corrida 4
- tab.8 – Cumprimento dos planos de manutenção preventiva – corrida 4
- tab.9 – Utilização dos recursos – corrida 5
- tab.10 – Cumprimento dos planos de manutenção preventiva – corrida 5
- tab.11 – Utilização dos recursos – corrida 6
- tab.12 – Cumprimento dos planos de manutenção preventiva – corrida 6
- tab.13 – Utilização dos recursos – corrida 7
- tab.14 – Cumprimento dos plano de manutenção preventiva – corrida 7
- tab.15 – Utilização dos recursos – corrida 8
- tab.16 – Cumprimento dos planos de manutenção preventiva – corrida 8
- tab.17 – Quadro resumo dos resultados – corrida 1
- tab.18 – Quadro resumo dos resultados – corrida 2

- tab.19 – Seriação das produtividades – corrida 1
- tab.20 – Seriação das produtividades – corrida 2
- tab.21 – Utilização das viaturas – corrida 1 e 2
- tab.22 – Adequação das 3 equipas – meios reais
- tab.23 – Adequação das 3 equipas – meios elevados
- tab.24 – Utilização das viaturas comparada nas 3 equipas

ACRÓNIMOS

- CTC – comando centralizado de tráfego (do inglês “centralized traffic control”)
- CCO – Centro de Comando Operacional
- CP – Comboios de Portugal, EPE
- DEM – Departamento de Engenharia Mecânica
- Dummies, dummy - sem significado
- EN xxxxx – Norma europeia (do inglês “European Norm”)
- ESTW – Locktrack 6111 ESTW L90 Sistema de sinalização proprietário da Thalesgroup (ex-Alcatel/SEL)
- FCTUC – Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra
- GISAF – Gabinete de Investigação e Segurança de Acidentes Ferroviários
- ICE – Índice de Capacidade em Excesso
- IMTT – Instituto da Mobilidade e dos Transportes Terrestres
- MTTR – Tempo médio de reparação (do inglês “mean time till repair”)
- MTTF – Tempo médio de operação (do inglês “mean time till failure”)
- MTBF – tempo médio entre falhas (do inglês “mean time between failures”)
- PK – Ponto-Kilométrico
- RAMS – Fiabilidade, disponibilidade, manutibilidade e sustentabilidade, do inglês “Reliability, Availability, Maintainability and Sustainability”
- REFER – Rede Ferroviária Nacional, EPE
- RCM – Manutenção centrada na fiabilidade (do inglês “Reliability centered maintenance”)
- RDC – relatório diário de circulação
- RDI – relatório diário da infra-estrutura
- TBF – Tempo entre falhas (do inglês “ time between failures”)
- TGV – comboio de alta velocidade, (do francês “train a grand vitesse”)
- TPM – Manutenção de produtividade total (do inglês “total productive maintenance”)
- TTR, TR – Tempo de reparação (do inglês “ time till repair”)
- SSI – Tecnologia de Encravamento de estado sólido (do inglês Solid state interlocking)

1. INTRODUÇÃO

A reestruturação dos caminhos-de-ferro europeus, iniciada na última década do século XX por iniciativa da comissão europeia (através dos diversos pacotes ferroviários), resultou na separação da função gestão da infra-estrutura da função transporte e da função regulação.

Esta reestruturação (tendo em vista uma liberalização do transporte) provocou a maior revolução organizacional no sector nos últimos cem anos.

A reorganização do sector conduziu à necessidade do sector de gestão de infra-estruturas apresentar performances operacionais e económico-financeiras cada vez mais elevadas, de forma a suprir quer as exigências dos operadores de transporte, quer as imposições dos reguladores.

Com esta nova realidade, as questões associadas à fiabilidade, disponibilidade, manutibilidade e segurança, bem como os limites orçamentais, são críticas para os Gestores de Infra-estruturas ferroviários europeus.

De facto, o mercado único europeu, as regras de livre concorrência europeias e as suas implicações no fim das subvenções a que os sistemas ferroviários estatais vinham habituados, obrigaram as empresas a olhar de outra forma para as suas estruturas de custos.

Em Portugal a separação da gestão da infra-estrutura e do transporte ocorreu em 1997, com a criação da REFER, por cisão da antiga CP da estrutura operacional respeitante às instalações fixas.

Da gestão corrente da infra-estrutura, a cargo da REFER, fazem parte a gestão da capacidade, a manutenção, o comando e controlo da circulação e a gestão de estações. Outras funções associadas à gestão da infra-estrutura prendem-se com a realização dos investimentos necessários para o desenvolvimento do sistema.

De acordo com o relatório de contas de 2008 da REFER, do total dos custos operacionais da empresa em 2008, cerca de 50% correspondem aos custos de manutenção e conservação (REFER, 2009).

A manutenção representa portanto uma parte significativa da estrutura de custos operacionais da REFER.

Dentro destes, os custos de manutenção de sinalização, não sendo os mais importantes, são significativos.

O investimento em modernização nos sistemas de sinalização instalados na rede ferroviária nacional, desde o início da década de noventa do séc XX, teve como origem a necessidade de responder à necessidade de aumentar a fiabilidade das instalações e consequentemente da sua operação, mas também a redução dos custos de operacionais associados.

Os novos sistemas, ao recorrerem a tecnologias de tipo electrónico e permitirem a centralização do comando e controlo, apresentam custos operacionais inferiores aos dos antigos sistemas a relés, em operação até à data.

Assim, mesmo assistindo a uma subida dos custos de manutenção, verificou-se que a redução de pessoal provocada pela capacidade de telecomando das instalações provocava uma redução dos custos operacionais globais, devido à acentuada redução dos custos de exploração conforme se ilustra na Figura 1.

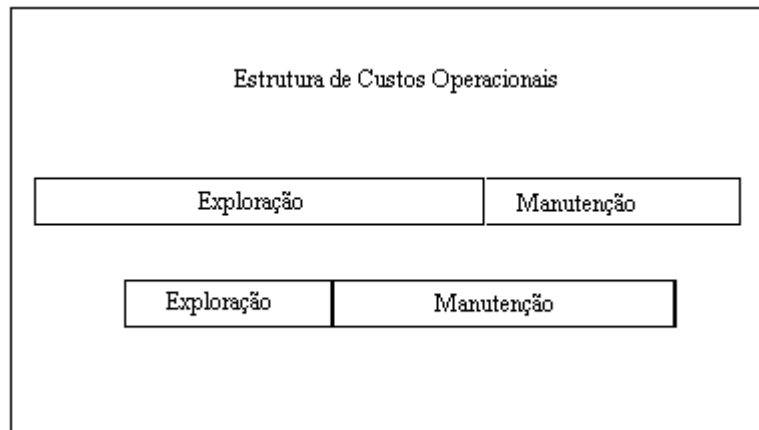


Fig 1 - Estrutura de Custos Operacionais

À semelhança do que é prática internacional geralmente aceite, nos primeiros anos da operação das instalações (durante a fase em que as falhas se devem essencialmente a problemas de qualidade e instalação), a REFER tem subcontratado os serviços de manutenção aos próprios instaladores/fornecedores dos sistemas de sinalização.

Numa perspectiva de melhoria contínua e tendo decorrido já alguns anos desde as primeiras instalações destes sistemas, procura-se actualmente avaliar os custos de manutenção, já numa fase de funcionamento estável, e provocar uma mudança de paradigma, introduzindo conceitos de manutenção centrada na fiabilidade.

Até então, e na generalidade, a manutenção foi baseada em conhecimentos individuais (saber-fazer), baseados na experiência profissional e em rotinas muitas vezes há longos anos enraizadas.

O conhecimento da fiabilidade dos sistemas e equipamentos instalados tornou-se uma necessidade absoluta para uma correcta afectação dos recursos disponíveis, de forma a manter os desejáveis níveis de serviço, melhorando no possível a performance a nível económico-financeiro.

A norma europeia EN 50126 consubstancializa essa tendência através do conceito de RAMS (*reliability, availability, maintainability and sustainability*). Esta norma leva a que sejam realizados estudos da fiabilidade dos sistemas a instalar, bem como estudos de manutibilidade dos mesmos.

Aferir, em sistemas em exploração comercial, a fiabilidade e manutibilidade dos mesmos é uma tarefa ciclópica, se não mesmo impossível, devido à sua enorme

complexidade. Esta dificuldade deriva do facto destes sistemas de sinalização serem extremamente complexos na sua interligação, sendo difícil modelizá-los analiticamente, o que se traduz numa falta de ênfase na modelização dos sistemas de gestão da manutenção associados.

Algumas das outras possíveis razões para esta falta de ênfase serão certamente:

- tradicionalmente a manutenção é vista como um mal necessário ou na melhor das hipóteses um sistema secundário perante a exploração da rede;
- a função manutenção numa dada organização tem relações complexas com as outras funções da organização;
- o resultado de uma boa manutenção é dificilmente visível (só se nota quando se verifica a falta dela);
- falta de dados e/ou meios de diagnóstico fiáveis.

Noutras indústrias, com problemas de modelização semelhantes, a solução encontrada foi a simulação dos processos, através de simuladores em computador.

De facto, entre as razões para se recorrer a simuladores podemos salientar:

- a indisponibilidade de modelos analíticos;
- a complexidade dos modelos analíticos;
- resultados estatísticos dos modelos analíticos insatisfatórios.

A simulação como ferramenta de apoio à decisão no caminho-de-ferro em Portugal esteve sempre mais associada a estudos de transporte e não a análises de performance logística de manutenção.

As técnicas de simulação numérica aplicadas à gestão da manutenção de sistemas ferroviários não são de facto um campo de conhecimento instalado na REFER.

O objectivo principal deste trabalho é construir um modelo de simulação do sistema de manutenção de sinalização da Linha do Norte e aferir da sua utilidade como ferramenta de apoio à gestão de manutenção.

Da utilização do modelo de simulação, a título de demonstração, pretende-se obter uma medida da adequação do efectivo das equipas existentes de manutenção aos activos existentes e sob a sua responsabilidade operacional.

Para tal torna-se necessário saber quais as necessidades de trabalho para manter os activos, bem como o estado efectivo dos activos.

Para a realização deste objectivo principal torna-se necessário o tratamento estatístico dos dados de avarias disponibilizados pela REFER, o que resulta num estudo de disponibilidade, fiabilidade e manutibilidade dos equipamentos e sistemas de sinalização instalados na Linha do Norte. Este estudo, de natureza confidencial, foi entregue na REFER. Com estes dados obtemos uma aferição do estado dos activos de sinalização instalados na Linha do Norte e a eficácia/eficiência das equipas de manutenção.

1.1 ESTRUTURA DESTE TRABALHO

No capítulo 2 fazemos uma breve revisão dos conceitos mais importantes que estão envolvidos no desenvolvimento do trabalho.

De seguida, no capítulo 3, descrevemos o processo de construção do modelo.

No capítulo 4 apresentamos os resultados da utilização do simulador, procedendo no capítulo 5 à sua análise.

O capítulo 6 apresenta as conclusões a retirar e o capítulo 7 aponta algumas direcções de trabalho.

2. ENQUADRAMENTO

2.1 CONCEITO DE MANUTENÇÃO

Manutenção é definida pela EN 13306 como “*a combinação de todas as acções técnicas, administrativas e de gestão durante o ciclo de vida de um bem, destinadas, da forma mais económica possível, a mantê-lo ou repô-lo num estado em que possa cumprir a função requerida*”.

Podemos dividir a vida útil de um bem em 3 fases principais:

- a sua instalação;
- a sua utilização;
- o seu desmantelamento.

De acordo com a norma acima indicada, pode-se pois afirmar que o papel da função manutenção numa indústria deve começar antes da instalação do bem, contribuindo para a definição do activo a comprar. De seguida compete à manutenção assegurar-se que o bem cumpre economicamente com as funções para as quais foi adquirido. Por fim compete-lhe ainda assegurar-se do desmantelamento do equipamento, reiniciando então novo ciclo.

As acções de manutenção podem ser divididas em dois grandes grupos:

- as de natureza curativa – manutenção executada após avaria (compreendem a manutenção curativa propriamente dita e a manutenção paliativa);
- as de natureza preventiva – manutenção executada para reduzir a probabilidade de ocorrer a avaria – (pode ser sistemática ou condicional).

Importa pois definir avaria. Avaria é definida por Luís A. Ferreira (1998) como “*A alteração ou cessação da possibilidade de um bem ou equipamento realizar uma função predeterminada*”.

A manutenção curativa é caracterizada pela espera da ocorrência da avaria e subsequente intervenção do pessoal de manutenção. Deve ser utilizada quando os custos indirectos da avaria são mínimos, quando existe redundância nos equipamentos de produção e quando as empresas adoptam políticas de renovação frequentes do parque de material.

A manutenção preventiva sistemática obriga a um estudo prévio, de modo a elaborar um plano de intervenções sobre os equipamentos, para que seja obtido um desempenho idêntico ao inicial. Este plano reflecte as necessidades de manutenção de uma forma periódica sobre os equipamentos.

A manutenção preventiva condicional obriga a um feedback constante do estado dos equipamentos, optimizando as tarefas que são feitas de uma forma cíclica na manutenção preventiva sistemática.

A diferença fundamental entre manutenção preventiva sistemática e manutenção preventiva condicional é que a primeira é predeterminada e a segunda é determinada quando se atinge o alarme (antes da avaria).

Os custos totais de manutenção em função dos tipos de acção de manutenção podem ser representados pelo gráfico abaixo.

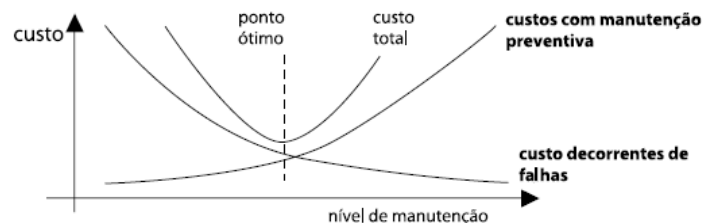


Fig 2 - Custos totais de manutenção – (Mancorin *et al.*, 2003)

Deste gráfico podemos constatar que existe um óptimo para as despesas totais de manutenção.

Existem diversas políticas de manutenção de entre as quais salientamos as seguintes:

- manutenção em caso de avaria: não é efectuada qualquer acção até existir uma avaria;
- manutenção até destruição: o bem é utilizado até ter de ser substituído;
- manutenção pré-planeada: o calendário é dividido em tarefas periódicas que são executadas ritmadamente pelas equipas ao longo do ano. Tipicamente temos tarefas mensais, semestrais, anuais, etc;
- manutenção centrada na fiabilidade (RCM): analisa as funções de cada equipamento, a sua fiabilidade através de métodos estatísticos, recomendando então o tipo de manutenção adequado a cada caso;
- manutenção de produtividade total (TPM): considera que as tarefas de manutenção fazem parte das tarefas de produção pelo que são os próprios operadores que executam as acções de manutenção.

Uma descrição mais aprofundada das diversas filosofias de manutenção e dos seus prós e contras pode ser encontrada em Stoneham (1998)

A gestão da manutenção necessita, para aferição e afectação dos meios empregues, de bases de dados onde sejam registadas as avarias, os seus tempos de duração e as suas frequências de ocorrência.

Com estes dados é possível encontrar os tempos de bom funcionamento dos equipamentos e sistemas e assim estimar o seu estado em termos de ciclo de vida.

É ainda possível avaliar a resposta em termos de eficácia das equipas que intervêm na reparação das avarias, nomeadamente através dos tempos de reparação.

2.1.1 TEMPOS DE BOM FUNCIONAMENTO DE UM EQUIPAMENTO E FIABILIDADE

Decidir quando efectuar as acções de manutenção preventiva ou as de natureza inspectiva constitui um dos maiores desafios de qualquer gestor de manutenção.

Esta decisão tem reflexos directos em dois aspectos fundamentais para qualquer indústria (Marcorin *et al.*, 2003):

- a capacidade de produção operacional;
- os custos de manutenção e, por consequência, os custos de produção.

O processo de falha dos equipamentos ou sistemas é um processo estocástico, pelo que se torna necessário utilizar ferramentas estatísticas para a sua descrição.

Tendo como base o registo dos tempos entre falhas (TBF) é possível criar um histograma em que a frequência relativa da falha é representada em função dos intervalos de tempo decorridos.

Partindo desse histograma é possível encontrar a função densidade de probabilidade da distribuição que melhor o representa.

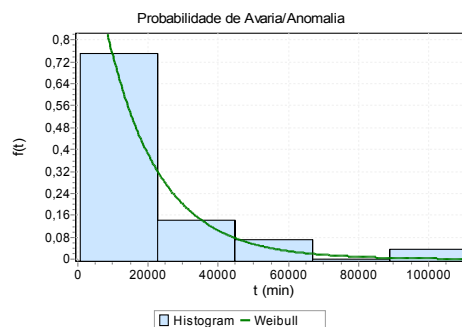


Fig 3 - Histograma e função densidade de probabilidade $f(t)$

Para estudos de manutenção usam-se mais frequentemente funções densidade de probabilidade e não os próprios histogramas de frequência relativa.

Isto deve-se ao facto de:

- as variáveis utilizadas serem contínuas;
- podermos trabalhar analiticamente as funções de densidade de probabilidade não acontecendo o mesmo com os histogramas;
- obtermos uma percepção mais aprofundada da natureza da distribuição da falha.

As distribuições mais frequentemente utilizadas para descrever falhas de equipamento são a Exponencial, a Normal, a Log Normal e a distribuição de Weibull (Nobre, 2008).

Em geral, em estudos de manutenção, procuramos a probabilidade de determinada falha ocorrer em determinado intervalo de tempo.

$$F(t) = \text{Prob}(T < t) \quad (1)$$

Integrando a função de densidade de probabilidade obtemos a função distribuição acumulada $F(t)$ que nos fornece essa indicação para uma determinada falha.

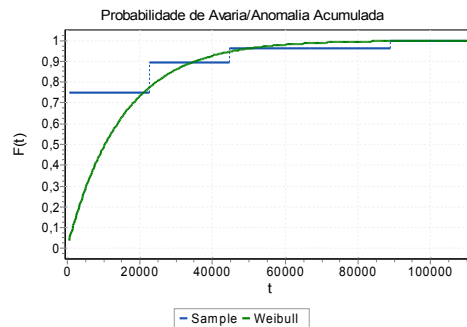


Fig 4 - Função distribuição acumulada $F(t)$

A função $R(t) = 1 - F(t)$, complementar de $F(t)$, representa a Fiabilidade do sistema.

Stevenson (2003) define Fiabilidade como “a medida da capacidade de um produto, serviço, peça ou sistema cumprir em determinadas condições pré estabelecidas a função para o qual foi imaginado”

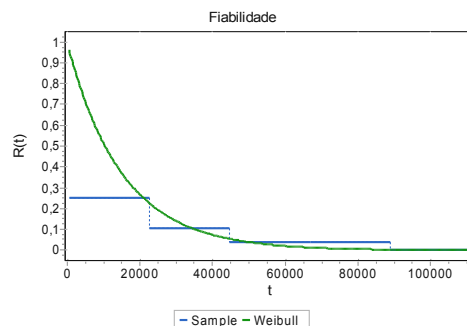


Fig 5 - Fiabilidade $R(t)$

Outra das características que se procura conhecer é a taxa de falhas do sistema ou equipamento. Esta encontra-se relacionada com a distribuição acumulada $F(t)$ da seguinte forma:

$$\lambda(t) = \frac{F(t+dt) - F(t)}{1 - F(t)} = \frac{F(t+dt) - F(t)}{R(t)} \quad (2)$$

A generalidade dos equipamentos apresenta uma variação da taxa de falhas ao longo da sua vida que pode ser representada pela chamada “curva da banheira”.

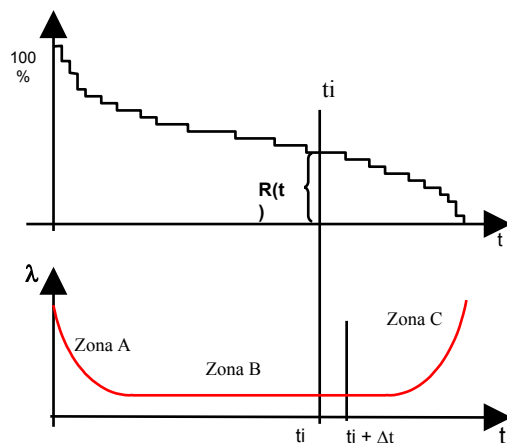


Fig 6 - Curva da Banheira

Nesta curva podemos verificar que quando a taxa de avarias diminui com o tempo estamos no início do ciclo de vida da instalação (Zona A).

Quando a taxa de avarias é constante ao longo do tempo, a origem das falhas é fundamentalmente aleatória (Zona B).

Por fim quando a taxa de avarias aumenta com o tempo (Zona C), o equipamento apresenta problemas característicos do fim de ciclo de vida.

Sabendo em que ponto sobre esta curva nos encontramos (estado do ciclo de vida) é possível escolher a política de manutenção mais adequada a cada caso.

Tratando-se de equipamentos substituíveis e encontrando-se os mesmos sobre a zona A ou B, não deve ser efectuada a substituição preventiva dos equipamentos para se obter a gestão económica dos mesmos. Já na região C a substituição preventiva dos mesmos reduzirá o risco de falha (Stoneham, 1998);(Ferreira, 1998).

Identificar em que período do ciclo de vida se encontra um equipamento é um desafio permanente em gestão da manutenção.

A análise de Weibull transformou-se no método mais popular para identificar a categoria de falha de determinado sistema: se se trata de uma falha de infância, se uma falha puramente aleatória ou se se trata de um problema de fim de vida do equipamento.

A distribuição de Weibull tem o nome do investigador que a descobriu e promoveu a sua aplicação na descrição de falhas de sistemas. Em Varela Pinto (1993) é possível aprofundar os conhecimentos sobre a distribuição de Weibull e sua aplicabilidade em estudos de fiabilidade e manutenção.

A função de distribuição de Weibull é representada por:

$$f(t) = \frac{\alpha}{\beta} \left(\frac{t-\gamma}{\beta} \right)^{\alpha-1} e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\beta} \right)^{\alpha}} \quad (3)$$

Os seus três parâmetros são o parâmetro de forma (α), o parâmetro de escala (β) e o parâmetro de localização (γ).

O parâmetro de forma α determina, como o seu próprio nome indica, a forma da distribuição. Assim quando $\alpha < 1$ a distribuição de Weibull apresenta uma forma hiperbólica com $f(0) = \text{infinito}$, quando $\alpha = 1$ transforma-se na função distribuição exponencial e quando $\alpha > 1$ é uma função unimodal, sendo para $\alpha = 3,54$ aproximadamente a função distribuição normal.

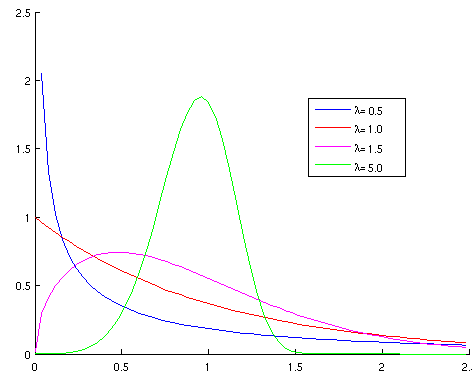


Fig 7 - Distribuição de Weibull – Variações de α

O grande interesse dos gestores de manutenção por esta análise e função prende-se com o facto de ser possível identificar o estado do equipamento/sistema a partir destes três subconjuntos do valor do parâmetro de forma. Estes três grupos de valores correspondem às três zonas de uma curva da banheira, sendo assim possível saber o estado da instalação através do valor do parâmetro α da função de Weibull.

2.1.2 TEMPOS DE REPARAÇÃO DE UM EQUIPAMENTO E MANUTIBILIDADE

Os tempos de reparação (TR) são outro dos factores importantes para um gestor de manutenção avaliar as performances das suas equipas e instalações.

Na posse dos registos dos tempos de reparação e seguindo uma análise semelhante à descrita acima para os tempos entre falhas, podemos igualmente descrever os tempos de intervenção através de funções de distribuição estatísticas. Estamos neste caso a aferir a manutibilidade dos sistemas ou equipamentos.

Manutibilidade de um sistema é definida por Luís A. Ferreira (1998) como “a probabilidade de recuperar um sistema nas condições de funcionamento especificadas, em prazos de tempo estabelecidos, quando as acções de manutenção são efectuadas nas condições e com os meios previstos”.

2.1.3 DISPONIBILIDADE DE UM EQUIPAMENTO

Com os elementos de descrição da fiabilidade e manutibilidade de um sistema acima indicados chegamos ao conceito de disponibilidade de um sistema.

Disponibilidade de um sistema é definida por Stevenson (2002) como “a fracção de tempo que determinada peça de equipamento está expectavelmente disponível para a produção”.

De outra forma Luís A. Ferreira (1998) define-a como “a probabilidade de bom funcionamento de um dispositivo no instante t ”.

O valor da disponibilidade média de um sistema é dado por:

$$D = \frac{MTTF}{MTTF + MTTR} \quad (4)$$

MTTF, do inglês “mean time till failure”, representa o tempo médio de operação.

MTTR, do inglês “mean time till repair”, representa o tempo médio de reparação.

Outra grandeza em questão é o MTBF, do inglês “mean time between failures”, em português tempo entre avarias.

Existindo algumas dúvidas frequentes causadas pelo uso destas nomenclaturas para grandezas diferentes, apresentamos de seguida um gráfico explicativo das mesmas.

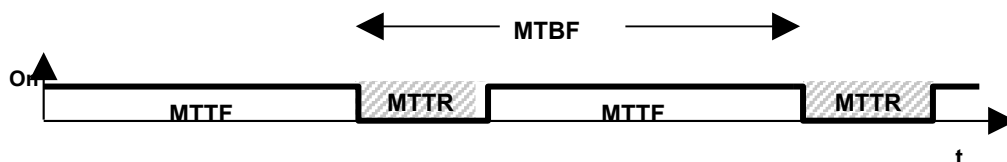


Fig 8 - Tempos envolvidos na operação de um sistema

Para sistemas em que MTTR é muito inferior a MTBF podemos considerar a aproximação (Ferreira, 1998)

$$MTTF \approx MTBF \quad (5)$$

donde se pode concluir que a disponibilidade média de um sistema pode ser dada por:

$$D \approx \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (6)$$

2.2 CONCEITO DE SIMULAÇÃO

Stevenson (2002) define Simulação como “*uma técnica descritiva na qual um modelo de um sistema é construído e sobre o qual são executadas experiências para avaliar o comportamento do sistema sob diversas condições*”.

A simulação não é uma ferramenta de otimização. Não oferecendo as soluções *per se*, a simulação é uma ferramenta estatística que permite aos gestores/decisores testarem as suas soluções.

Nesta definição de Stevenson entende-se por sistema o processo (ou instalação) que pretendemos estudar e sobre o qual conhecemos as regras de funcionamento.

Por outro lado, por modelo do sistema entende-se a representação do processo/instalação através de regras lógicas ou matemáticas que descrevem o seu funcionamento.

2.2.1 SIMULAÇÃO E SUA POPULARIDADE

A simulação proporcionada pela informática e seus avanços do final do séc. XX levou a uma popularidade enorme do seu uso, como ferramenta de auxílio à decisão, por gestores de todas as áreas.

Algumas das causas desta popularidade são apontadas por Stevenson (2002), tais como:

- a complexidade dos sistemas torna demasiado difícil e moroso o desenvolvimento de soluções matemáticas para os problemas;
- os modelos de simulação são geralmente simples e de fácil compreensão;
- a simulação permite a realização de experiências sobre o modelo evitando a experimentação sobre o sistema real;
- existem disponíveis diversos pacotes de software para simulações dos mais diversos tipos;
- é possível simular quase tudo;
- existem experiências muito positivas em distintos campos de aplicação.

2.2.2 O SIMULADOR SIMUL8

O Software de simulação Simul8 (www.simul8.com) é um simulador numérico da companhia Visual8 amplamente utilizado para simulações dos mais diversos tipos.

De entre as áreas de actividade dos seus clientes temos a produção, os serviços, os serviços de saúde, call-centers, logística e gestão da cadeia de abastecimentos, petróleos, nuclear, defesa e educação.

Este simulador permite ao utilizador a criação de um modelo do seu sistema através de uma interface gráfica, com características interactivas.

O utilizador, através do desenho dos componentes do seu sistema, constrói o seu modelo, estabelecendo as relações entre os mesmos através de setas.

As propriedades dos componentes utilizados podem ser definidas em termos de capacidade, velocidade de operação, modos de falha, tempos de recuperação, etc.

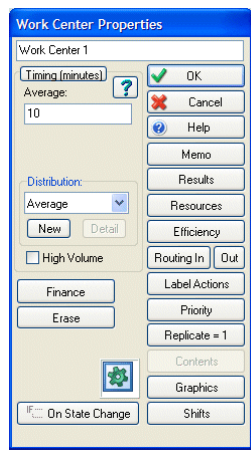


Fig 9 - Tela de entrada para alterar propriedades de um *Workcenter*

Entre os componentes do sistema existem os abaixo indicados que podem ser utilizados como base de qualquer modelo:

- ***Workcenter*** – representa a actividade ou o equipamento ou o sistema a estudar;
- ***Queue/Storage*** – trata-se de uma fila de espera que representa o tempo de espera de um *workitem* antes de ser processado pela actividade/sistema/equipamento;
- ***Resources*** – são os recursos disponíveis dentro do nosso sistema (podem ser as nossas equipas de manutenção, por ex.);
- ***Workitems*** – representam o funcionamento do sistema no aspecto que o modelo pretende analisar. Os *workitems* podem ter *labels* que representam características úteis para a simulação;
- ***Work Entry Point*** – local onde entram no sistema os nossos *workitems*;
- ***Work Exit Point*** – local onde saem do sistema os nossos *workitems*.

A figura 10 é um simulador simples onde são visíveis os diversos componentes de uma simulação em Simul8.

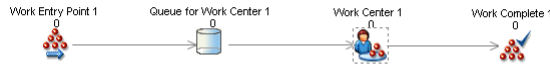


Fig 10 - Elementos básicos do Simul8

O simulador permite a execução do modelo (após a construção), definindo-se tempos de aquecimento e tempos de corrida da simulação. O tempo de aquecimento permite ao sistema ultrapassar a fase transitória e entrar em estado estacionário, não se procedendo à recolha de dados para os resultados finais. O tempo de corrida corresponde ao intervalo de tempo (após o aquecimento) onde se recolhem os dados.

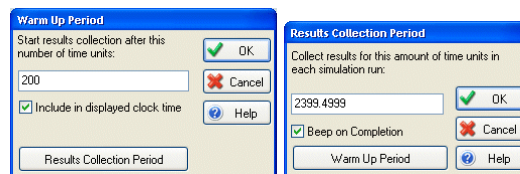


Fig 11 - Telas de configuração para os tempos da simulação

A definição dos tempos a utilizar para a simulação deve ter em atenção o funcionamento do sistema que estamos a modelizar.

Como resultado das corridas de simulação obtemos estatísticas que podem ser tempos de operação, capacidade utilizada, tempos de espera, etc.

A exportação de resultados para folhas de cálculo Excel é uma das funcionalidades do pacote Simul8.

Uma descrição completa das restantes funcionalidades do programa pode ser encontrada em (Simul8 Corporation, 2003).

2.3 A REFER, EPE (REFER, 2009)

A REFER Rede Ferroviária Nacional, E. P. E. é criada em 1997 (Decreto-Lei nº 104/97 de 29 de Abril), na tutela dos Ministérios das Finanças e das Obras Públicas, Transportes e Comunicações – Secretaria de Estado dos Transportes, consistindo o seu principal objectivo na prestação do serviço público de gestão da infra-estrutura integrante da rede ferroviária nacional, incluindo a construção e modernização da referida infra-estrutura.

Nos pressupostos da independência da gestão das empresas de Transporte Ferroviário, a REFER articula-se com:

- o Instituto da Mobilidade e dos Transportes Terrestres (IMTT) entidade reguladora;
- o Gabinete de Investigação e Segurança e de Acidentes Ferroviários (GISAF);
- os Operadores de transporte de passageiros e de mercadorias (CP, FERTAGUS, TAKARGO, COMSARAIL).

A REFER tem como missão proporcionar ao mercado uma infra-estrutura de transporte competitiva, gerindo e desenvolvendo uma rede ferroviária eficiente e segura, no respeito pelo meio ambiente.

Os objectivos da REFER são:

- disponibilizar ao mercado uma rede ferroviária fiável e de qualidade, na perspectiva da optimização do serviço ao cliente;
- modernizar a Empresa, quer tecnologicamente, quer pelo desenvolvimento das suas pessoas e da sua organização;
- garantir a disponibilidade da rede e a integridade do património;
- garantir a eficácia social, económica e financeira da empresa;
- garantir novas oportunidades de negócio.

As principais características da infra-estrutura ferroviária colocada ao serviço dos Operadores são:

Extensão da rede

- Via Larga: 2603 km
- Via Estreita: 188 km

Electrificação

- Via Electrificada: 1430 km (na Via Larga)

Regulação de Tráfego

- Cantonamento Automático com Bloco Orientável: 1347 km
- Cantonamento Automático sem Bloco Orientável: 122 km
- Cantonamento Telefónico: 1014 km
- Regime Exploração Simplificado (RES): 120 km

Sistema Convel

- Extensão de rede coberta: 1457 km (na Via Larga)

Sistema Rádio Solo-Comboio

- Extensão de rede coberta: 1462 km (na Via Larga)

Patamares de Velocidade na Via Larga

- até 120 km/h - 67% da rede
- entre 120 e 160 km/hora - 28% da rede
- entre 160 e 200 km/hora - 3% da rede
- superior a 200 km/hora - 2% da rede

Número de Estações

- 650 estações e apeadeiros em serviço

Circulação

- Cerca de 2300 comboios por dia típico

Os sistemas e processos operacionais, mais significativos, de apoio à exploração ferroviária são:

Sistemas de Regulação de Tráfego

- SITRA (Sistema de Regulação de Tráfego)
- CTC/CCO (Comando de Tráfego Centralizado)

Telecomunicações

- Rádio Solo-Comboio

Sistemas de Segurança

- CONVEL (Controlo Automático de Velocidade)
- SATA (Sistema de Gestão das Passagens de Nível Automatizadas)

Sistemas Diversos

- RDC (Relatório Diário de Circulação)
- RDI (Relatório Diário da Infra-estrutura)

2.3.1 A LINHA DO NORTE (REFER, 2009)

Na rede ferroviária nacional a Linha do Norte constitui-se como “coluna vertebral” de todo o sistema ferroviário, nela circulando cerca de 75% dos serviços de mercadorias e passageiros de médio e longo curso do País.

As obras de modernização na Linha do Norte foram iniciadas em 1996, tendo sido já concluídas, na generalidade, as intervenções nos troços Braço de Prata – Alverca, Vila Franca de Xira - Azambuja, Azambuja - Vale de Santarém, Entroncamento – Albergaria, Albergaria – Alfarelos, Pampilhosa – Quintans e Quintans – Ovar.

O troço Alverca - Vila Franca de Xira está, actualmente, a ser alvo de intervenção, mais concretamente entre Alhandra e Vila Franca de Xira.

Falta ainda intervencionar os troços Vale de Santarém – Entroncamento, Alfarelos – Pampilhosa e Ovar – Gaia.

As intervenções já realizadas / a realizar podem ser resumidas da seguinte forma:

Em Estações e Apeadeiros:

- construção/modernização de estações e apeadeiros, melhorando substancialmente os níveis de conforto (acessos desnivelados aos cais de passageiros, interfaces rodo-ferroviários, abrigos, coberturas, novos cais de passageiros, sinalética);
- racionalização dos layouts ferroviários das estações, ao encontro das necessidades do Operador (CP).

Plena Via:

- renovação da superestrutura de via e substituição integral do sistema de catenária;
- optimização do traçado e eliminação de pontos singulares, permitindo o aumento generalizado da velocidade de circulação dos comboios, bem como uma melhoria da uniformização das velocidades de circulação;
- reforço da plataforma e renovação/reabilitação das infra-estruturas de drenagem;
- construção de passagens desniveladas, melhorando as acessibilidades e possibilitando a eliminação de passagens de nível (223 passagens de nível já encerradas até à data, de um total de 312 existentes no início do projecto);

- renovação dos sistemas de sinalização e telecomunicações e implementação de sistemas de controlo de velocidade (Convel);
- vedação da via-férrea.

Ao nível dos objectivos perseguidos com a implementação do projecto, destacamos:

- a redução do tempo de percurso entre Lisboa e Porto;
- o aumento da capacidade, nomeadamente nas zonas suburbanas;
- o aumento da segurança;
- a modernização tecnológica;
- o aumento da qualidade e fiabilidade de transporte;
- a utilização da mesma infra-estrutura por comboios de mercadorias, com carga máxima por eixo de 25 toneladas e velocidade até 120 km/h;
- a minimização dos custos de conservação após a intervenção;
- a minimização das perturbações à Exploração após a intervenção.

2.3.2 BASES DE DADOS EXISTENTES NA REFER E REFERENTES A FALHAS DE EQUIPAMENTOS

A REFER possui diversos sistemas informáticos de apoio à sua actividade de exploração e gestão da Rede Ferroviária Nacional. Dentro destes sistemas existem duas bases de dados que registam ocorrências sobre a infra-estrutura:

- o “*egoc*”
- o “*eremedy*”.

O “*egoc*” é uma aplicação onde o operador de serviço no comando de exploração da rede regista as anomalias que de alguma forma têm influência na regularidade da exploração ferroviária.

Ao ter conhecimento de uma anomalia através dos sistemas automáticos de reporte de falhas ou através de comunicações dos maquinistas, ou de reporte de pessoal operacional da empresa, o operador cria um registo de anomalia, escolhendo qual o tipo de anomalia dentro das pré-definidas no sistema.

Ao efectuar esta operação o registo obriga à indicação da hora de início da avaria.

De seguida e tratando-se de um problema de infra-estrutura, é automaticamente criado um registo na segunda base de dados, o “*eremedy*”, e o assunto passa para a esfera do operador de manutenção no centro de comando.

Este último contacta os serviços de manutenção respeitantes à avaria em questão e regista a hora de conhecimento da equipa interveniente.

A equipa de intervenção desloca-se para o local e quando inicia o trabalho de reparação deve indicar a hora ao operador de manutenção no centro de comando operacional.

Na conclusão dos trabalhos a hora de resolução do problema é então transmitida para o operador de manutenção, que encerra a ocorrência de manutenção em

“*eremedy*”, informando o operador de exploração da conclusão dos trabalhos de reparação. Este deve então fechar a ocorrência em “*egoc*” dando por finalizada a avaria.

O “*eremedy*” é utilizado também para o registo das intervenções do pessoal de manutenção cujas consequências não são visualizadas pelos operadores de exploração da infra-estrutura.

Assim sendo existem registos de intervenções sobre equipamentos que, ou pela sua concepção ou por não estarem a ser utilizados, não são registados em “*egoc*” mas apenas em “*eremedy*”.

As classificações de avarias existentes em ambas as bases de dados são distintas nos seus textos descritivos.

Para se realizar uma análise completa de determinado período, com o fim de se obter uma caracterização do estado dos activos, é pois necessário fundir ambas as bases de dados, quer para evitar a duplicação de registos, quer para se obter a maior fiabilidade da informação.

No período utilizado para o efeito deste estudo, como aliás será sempre o caso, existem erros nos registos (de natureza humana) e mesmo registos incompletos por esses ou outros motivos.

No anexo I encontram-se imagens das telas de entrada utilizadas como interface do utilizador para ambas as bases de dados.

3. DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

3.1 O TRATAMENTO ESTATÍSTICO DOS DADOS (TBF E TR)

O trabalho de fusão das bases de dados consistiu em unir os estratos das duas bases de dados em apenas uma, de forma a dispor da informação mais completa possível para cada ocorrência em concreto.

Foram apenas retidos os campos necessário à execução do tratamento estatístico dos dados ou seja:

- Nome da avaria/anomalia;
- Data/hora de início;
- Data/hora de comunicação à equipa de manutenção interveniente;
- Data/hora de fim da avaria/anomalia;
- Campos associados à localização (PK (Ponto-kilométrico) inicial, PK da intervenção e PK final).

Sendo a noção de Ponto-Kilométrico (PK), um conceito puramente ferroviário surge a necessidade de o clarificar. O Ponto-Kilométrico traduz a distância à origem da Linha de qualquer ponto da mesma. No caso da Linha do Norte o PK zero é a Estação de Sta Apolónia e o PK 336,709 corresponde à Estação de Porto-Campanhã.

Com base nestes registos foi possível organizar, por tipo de avaria e por estação/troço entre estações, os dados disponíveis.

Neste processamento das bases de dados foram tomadas as seguintes decisões de forma a poder assegurar o maior número de dados para a análise estatística das falhas:

- 1) é considerado equipamento entre estações o equipamento que se encontra fora dos PK das agulhas mais distantes pertencentes a uma estação;
- 2) é considerado equipamento dentro de estação o que se encontra em PK entre agulhas nos mesmos moldes do ponto anterior;
- 3) em caso de não existir data/hora de conhecimento das equipas (de origem em “*eremedy*”) é considerada a hora de início de ocorrência do registo do “*egoc*”, do que resulta uma majoração (pouco significativa) dos tempos de reparação.

Com estes dados e estas considerações decisivas foi possível proceder ao tratamento estatístico das avarias registadas (por tipo de avaria e por localização) no período de 18 de Fevereiro de 2007 00h00min a 18 de Fevereiro de 2008 24h00.

Estes dados são de natureza confidencial, tendo sido no entanto disponibilizados ao júri nestes moldes. Encontram-se no Anexo Confidencial sob o directório MTBF_MTTR.

3.1.1 A FERRAMENTA EASYFIT

Encontrando-nos então na posse dos dados de uma forma organizada e utilizável procedemos ao seu tratamento estatístico, através da utilização da ferramenta Easyfit de análise estatística de dados numéricos.

Esta ferramenta, disponível em www.mathwave.com/products/easyfit.html, em versão livre e em versão para estudantes contra o pagamento de uma licença simbólica, proporciona uma análise estatística aprofundada de séries de dados numéricos.

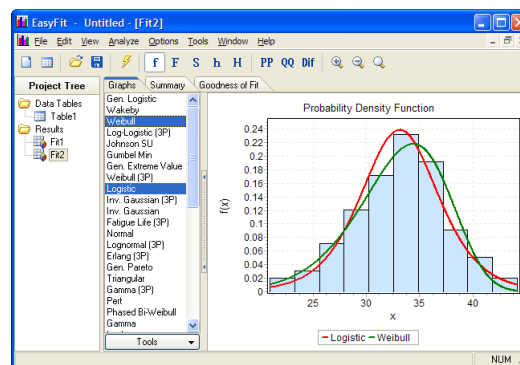


Fig 12 - Ferramenta Easyfit

A versão utilizada foi a de licença paga por um ano, para estudante.

Ao ser totalmente integrada com o Excel, é possível obter quase instantaneamente uma seriação das 55 distribuições disponíveis no software para descrição dos dados disponíveis.

Para cada distribuição é ainda possível visualizar os gráficos das diversas funções obtidas, sobrepostas aos histogramas dos dados originais.

São ainda apresentadas, com os resultados da análise de adequação das distribuições aos dados, duas análises de aderência: a de Kolmogorov/Smirnov e a de Anderson/Darling.

Na nossa análise e para escolha da distribuição mais adequada para descrever os nossos dados foram utilizados o critério de Kolmogorov/Smirnov e os gráficos produzidos pelo software. De seguida (em 3.1.2) explicaremos mais detalhadamente em que consiste o critério de Kolmogorov/Smirnov.

De entre as várias funções distribuição de probabilidades que o software apresentava como possíveis para descrever as séries de dados foi escolhida (para cada caso) a melhor classificada de entre as que a literatura apresenta como possíveis de descrever a degradação dos equipamentos.

Neste processo de escolha de distribuições para descrição dos dados, fomos confrontados com a impossibilidade de descrever (através de uma distribuição estatística) séries com menos do que três dados.

Para estes casos, foi calculada a média aritmética simples dos TBF e dos TTR, tendo-se optado por descrever a falha através de uma distribuição exponencial negativa no relativo aos TBF e com a média simples dos TR como MTTR.

3.1.2 CRITÉRIO DE KOLMOGOROV/SMIRNOV

O teste de Kolmogorov/Smirnov é um teste de aderência utilizado para verificar se uma dada função de distribuição descreve correctamente um determinado conjunto de dados de amostra.

Tal é conseguido através do chamado valor crítico que é comparado com o valor calculado P. O parâmetro α representa os diferentes níveis de significância que geralmente são apresentados em tabelas. A aderência entre a série empírica e a distribuição calculada é válida se o valor crítico for inferior ao valor P.

Weibull [#56]					
Kolmogorov-Smirnov					
Sample Size	28				
Statistic	0,12038				
P-Value	0,76787				
Rank	5				
α	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01
Critical Value	0,1968	0,22497	0,24993	0,27942	0,29971
Reject?	No	No	No	No	No

Fig 13 - Exemplo de ecrã do Easyfit de resultado do teste K/S

Um aprofundamento do conhecimento do teste de Kolmogorov/Smirnov poderá ser encontrado em

www.itl.nist.gov/div898/handbook/index.htm

ou

www.physics.csbsju.edu/stats/KS-test.html

3.1.3 FUNÇÕES DE FIABILIDADE E MANUTIBILIDADE DOS EQUIPAMENTOS

Foram estimadas e apresentadas 391 distribuições descritivas das falhas dos activos de sinalização ferroviária da Linha do Norte (por tipo de avaria e localização) e respectivos tempos de reparação, tendo sido criada, para cada falha, uma ficha de caracterização idêntica à do anexo II.

Os resultados obtidos, de natureza confidencial, foram fornecidos ao júri para consulta e encontram-se na sua totalidade no anexo Confidencial sob o directório MTBF_MTTR.

3.2 MODELO DO GERADOR DE AVARIAS PARA A LINHA DO NORTE

Na posse das distribuições descritivas das falhas (TBF) e dos tempos de reparação (TR), passámos à fase de construção do modelo de falhas da Linha do Norte.

3.2.1 MODELO SIMPLIFICADO DE UMA SISTEMA DE CAMINHO DE FERRO

Qualquer sistema de caminho-de-ferro, sejam as linhas de alta velocidade para o TGV ou a Linha do Tua pode ser descrito através de dois elementos base do sistema:

- a Estação, definida como o local onde é possível mudar de Via, ou seja onde é possível existirem cruzamentos de comboios;
- a Via entre estações (ou plena Via), definida como o sistema continuo onde não é possível qualquer mudança de Via.

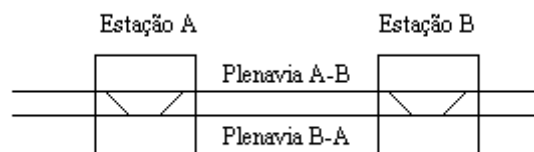


Fig 14 - Modelo simplificado de sistema de Caminho de Ferro

Em sistemas de Via dupla como a Linha do Norte, teremos a plena Via A (sentido ascendente) e a plena via D (sentido descendente).

No caso de avaria na plena Via ascendente que impossibilite a sua utilização, é possível, na estação precedente nesse sentido, o envio de comboios para a plena Via contrária (neste caso descendente), que aí circularão em contramão (em termos ferroviários denomina-se contravia).

Teremos pois para cada plena Via um sentido normal e um sentido de contravia.

A exploração destas situações é feita através das manobras das agulhas das estações colaterais e da utilização de sistemas de sinalização e encravamento que impedem a utilização de uma mesma via por dois comboios a circular em sentidos opostos.

Definido desta forma o modelo não depende das tecnologias efectivamente existentes no terreno.

Com esta definição é possível passar à construção do modelo no simulador que utilizamos, o Simul8.

3.2.2 MODELO DE UM SISTEMA FERROVIÁRIO NO SIMULADOR SIMUL8

O modelo equivalente ao descrito anteriormente, implementado em Simul8, é o da figura abaixo:

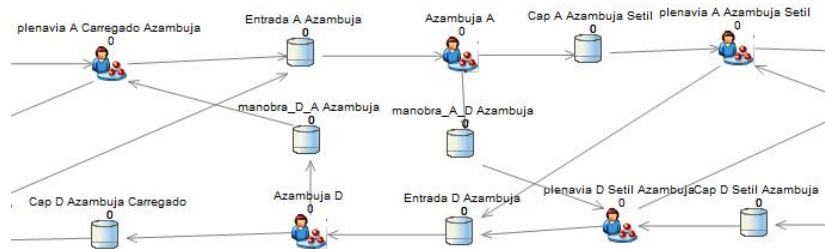


Fig 15 - Modelo em Simul8 de um Sistema Ferroviário

Nesta representação do sistema ferroviário acima descrito, encontramos as filas de espera que representam as capacidades das estações receberem circulações em determinado sentido, o número de itinerários de mudança de linha e a capacidade de determinado trecho entre estações. Os *workcenters* apresentados representam os activos instalados dentro das estações ou entre duas estações. Os activos de sinalização podem ser circuitos de via ou contadores de eixos, sistemas de controlo de velocidade, sinais ferroviários, motores de agulhas, mesas de comando, etc. Tecnicamente correspondem aos equipamentos instalados.

Mais abaixo explicamos detalhadamente a parametrização dos componentes do simulador.

3.2.3 PARAMETRIZAÇÃO DO MODELO DE AVARIAS

3.2.3.1 PARAMETRIZAÇÃO DOS WORKCENTERS:

Nomes atribuídos:

- **Nome da estação A (Nome da estação D):** representam os activos nas estações na sentido ascendente (descendente)
- **plenavia A estaçãoX estaçãoY (plenavia D estaçãoY estaçãoX):** representam os activos entre as estações X e Y na via ascendente (descendente)

Tempos de execução da tarefa atribuídos aos *workcenters*:

Foram considerados tempos de execução de zero minutos nas estações e um tempo de execução correspondente ao tempo de trajecto a uma velocidade média de 100 km/h entre estações, para as plenavias (anexo III).

Eficiência:

Na parametrização da eficiência foram introduzidas as distribuições de TBF e TR obtidas pelo tratamento estatístico dos dados, para cada tipo de avaria.

Foram também indicados os recursos necessários para a reparação das avarias.

Funcionamento:

O funcionamento dos *workcenters* de estação descreve-se da seguinte forma:

Recebem *workitems* da fila de espera a montante e encaminham-nos para a plenavia a jusante. Caso a fila de espera, que representa a capacidade dessa plenavia, esteja cheia, enviam os *workitems* para a contravia através da fila de espera de manobra da mudança de via correspondente.

O funcionamento dos *workcenters* de plenavia descreve-se da seguinte forma:

Recebem *workitems* da estação a montante através da fila de espera precedente e da estação a jusante através da fila de espera de manobra correspondente. Identificam o sentido do *workitem* pelo *label* “sentido” e caso seja o sentido ascendente (sentido=1) enviam o *workitem* para a estação imediatamente a Norte, caso seja descendente (sentido=2) enviam o *workitem* para a estação imediatamente a Sul.

3.2.3.2 PARAMETRIZAÇÃO DAS FILAS DE ESPERA:

Nomes atribuídos:

- **Entrada A estaçãoX (Entrada D estaçãoX)** representam a capacidade (nº de linhas) na *estaçãoX* para receber comboios no sentido ascendente (descendente);
- **Cap A estaçãoX estaçãoY (Cap D estaçãoY estaçãoX)** representa a capacidade entre a *estaçãoX* e a *estaçãoY* no sentido ascendente (descendente);
- **Manobra A D estaçãoX (Manobra D A estaçãoX)** representa a quantidade de itinerários possíveis do sentido ascendente (descendente) para o descendente (ascendente) na *estaçãoX*.

As capacidades utilizadas para as filas de espera são as apresentadas do anexo IV.

3.2.3.3 PARAMETRIZAÇÃO DOS WORKITEMS

Os *workitems*, aqui denominados *slots*, são introduzidos no sistema nas extremidades (Lisboa-Sta Apolónia e Porto-Campanhã) sendo identificados com o sentido (1 de Sul para Norte e 2 de Norte para Sul) através da funcionalidade de *label* do simulador. Os *slots* representam uma ocupação dos activos, provocada pela sua utilização.

São introduzidos no sistema com uma distribuição exponencial negativa de 25 minutos de média. Este valor foi escolhido tendo presente a solicitação média dos activos e a distribuição escolhida pretende modelizar uma chegada aleatória, de forma a representar eventuais faltas de pontualidade.

3.3 MODELO DO CICLO ANUAL DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA

Na REFER a manutenção preventiva de sistemas de sinalização segue um ciclo anual e é constituída por tarefas com periodicidades mensais, trimestrais, semestrais e anuais. A estruturação da manutenção preventiva nestas periodicidades reflecte o saber-fazer acumulado ao longo dos anos, bem como os manuais técnicos dos equipamentos instalados e ainda alterações sazonais com implicações operacionais.

Para uma dada instalação/equipamento existem diversas intervenções que (no limite) corresponderão a intervenções preventivas com todas as periodicidades acima indicadas.

Dentro das tarefas cíclicas dos planos de manutenção em uso nos sistemas de sinalização da REFER e a título meramente ilustrativo, podemos indicar a lubrificação de agulhas (de natureza mensal), a manutenção de sistemas de alimentação eléctrica de Passagens de Nível (trimestral), a colocação de pó formicida (semestral), a manutenção de circuitos de via (anual), entre muitas outras.

Assim, e a título de exemplo, a lubrificação de agulhas será efectuada doze vezes por ano.

Por uma questão de simplificação do estudo, não foi criado um modelo por equipamentos/sistemas mas sim um modelo englobando o total de horas/homem por equipa de manutenção. Com esta configuração é possível simular o cumprimento do plano preventivo por equipa, o que se nos afigura suficiente no âmbito deste trabalho.

Abaixo apresentamos uma imagem do modelo construído em Simul8.

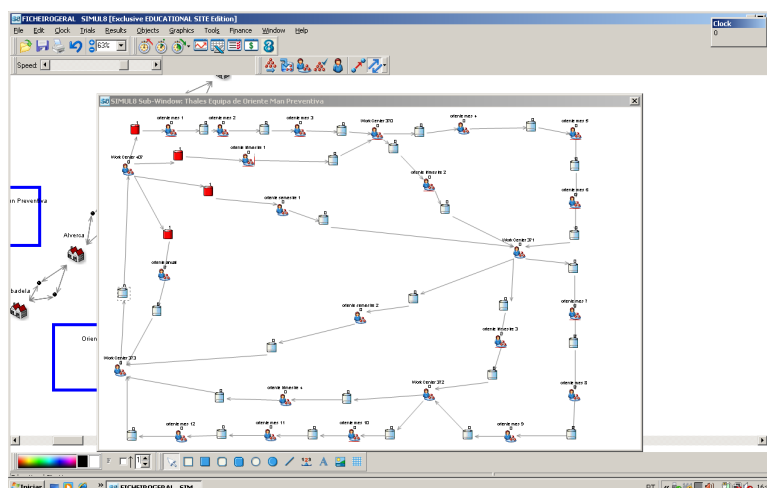


Fig 16 - Ciclo de manutenção preventiva para um centro de manutenção em Simul8 Naturalmente que as tarefas do mês 1 terão de estar completas no fim do mês 1, as do trimestre 1 no fim do trimestre 1 e assim sucessivamente. No nosso modelo tal é conseguido através da utilização de *workcenters* “*dummies*” que verificam se as tarefas que estão para trás no tempo foram executadas. Isto é conseguido através da espera pela tarefa mais longa. Assim, por exemplo, o *workcenter dummy* no fim do primeiro semestre espera pela tarefa semestre 1, depois pela tarefa trimestre 2 e finalmente pela tarefa mensal 6.

As ordens de início de manutenção preventiva são dadas pela presença do *workitem* “manutenção” no respectivo *workcenter*.

A inicialização do sistema prevê a existência de 4 *workitems* destinados aos quatro ramos iniciais da simulação. Estes *workcenters* têm *labels* distintos, o que permite identificar a sua origem (mensal, trimestral, semestral e anual).

3.3.1 RECURSOS

As equipas de manutenção existentes na Linha do Norte encontram-se distribuídas geograficamente ao longo da linha e organizadas em centros de manutenção. Cada equipa tem atribuída determinada secção da linha, sendo responsável pela manutenção dos equipamentos/sistemas aí instalados.

As equipas existentes são:

- a Equipa Refer de Sta. Apolónia;
- a Equipa Thales de Lisboa-Oriente;
- a Equipa Thales de Alverca;
- a Equipa Refer de Entroncamento;
- a Equipa Thales de Lamarosa;
- a Equipa Thales de Pombal;
- a Equipa Refer de Coimbra;
- a Equipa Dimetronic de Aveiro;
- a Equipa Refer de Gaia;
- a Equipa Dimetronic de Campanhã.

Algumas destas equipas não actuam exclusivamente na linha do Norte, tendo também acção sobre linhas ou ramais adjacentes (por exemplo a equipa REFER de Coimbra efectua manutenção sobre os ramais de Lousã, Alfarelos, Figueira da Foz e Linha do Oeste).

Em cada equipa, os recursos que pretendemos avaliar são a ocupação horas/homem e a utilização de viaturas. No nosso modelo, para que os *workcenters* dos ciclos de manutenção preventiva sejam executados é necessária a presença destes dois recursos (homens e viaturas).

3.3.2 PARAMETRIZAÇÃO DO MODELO CÍCLICO DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA

Nomes atribuídos:

- **equipa mês n** representa a manutenção preventiva a realizar no mês n pela equipa indicada;
- **equipa trimestre n** representa a manutenção preventiva a realizar no trimestre n pela equipa respectiva;
- **equipa semestre n** representa a manutenção preventiva a realizar no semestre n pela equipa respectiva;
- **equipa anual** representa a manutenção preventiva a realizar no período de um ano pela equipa respectiva.

Os *workcenters* “*dummies*” que fazem a consolidação temporal das manutenções periódicas não têm nome atribuído especificamente, tendo-se optado, na generalidade, pela nomenclatura automática criada pelo próprio simulador.

De igual forma para as filas de espera (que são introduzidas exclusivamente por necessidade de programação) também não existe atribuição de nome.

Tempos de execução da tarefa atribuídos aos *workcenters*:

- tarefas mensais: duração de 22 dias úteis x 8 horas x 60 minutos;
- tarefas trimestrais: duração de 3 x tarefas mensais;
- tarefas semestrais: duração de 6 x tarefas mensais;
- tarefas anuais: duração de 12 x tarefas mensais;
- “*dummies*”: têm um tempo de execução de zero minutos.

Eficiência:

Todos os *workcenters* do ciclo de manutenção preventiva têm uma eficiência de 100%, *i.e.* não estão sujeitos a avarias.

Recursos necessários:

Para poderem processar a manutenção respectiva os *workcenters* que representam as manutenções preventivas têm como necessidade os recursos seguintes:

- uma equipa de manutenção composta por: no mínimo 2 colaboradores e no máximo 5 colaboradores;
- uma viatura.

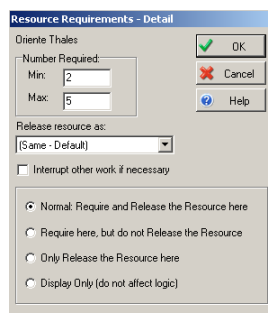


Fig 17 - Tela de dimensionamento dos recursos

A limitação de 2 a 5 colaboradores prende-se com motivos regulamentares e de segurança (impossibilidade de realizar trabalho por menos de 2 pessoas) e pela limitação de um automóvel ligeiro (5 pessoas de capacidade).

Funcionamento:

No início da simulação existem 4 *workitems*, com *labels* distintos, que se encontram atribuídos a uma fila de espera que se situa antes de cada um dos caminhos possíveis para a realização das tarefas (mensal, trimestral, semestral e anual). Imediatamente após o início os *workitems* são enviados aos *workcenters* distintos e pela configuração dos mesmos são identificados os recursos necessários (colaboradores e viatura) para a realização das tarefas.

Terminada a tarefa, os recursos são imediatamente libertados para outra tarefa necessária onde esteja presente um *workitem*. Chegados aos *workcenters* “*dummies*” estes aguardam que estejam realizadas todas as tarefas temporais anteriores para passar os *workitems* (utilizando os *labels*) para as tarefas periódicas seguintes e assim sucessivamente.

Existindo recursos disponíveis é possível a realização de tarefas em paralelo desde que no respectivo *workcenter* se encontre o *workitem* necessário.

3.4 MODELO COMPLETO DA MANUTENÇÃO DE SINALIZAÇÃO DA LINHA DO NORTE

Após o desenvolvimento do modelo de geração de avarias e do modelo do ciclo de manutenção preventiva, como atrás descrevemos, procedemos à fusão de ambos e obtivemos assim o nosso modelo completo do sistema de manutenção de sinalização da Linha do Norte.

Na figura abaixo apresentamos uma imagem de parte do simulador onde são visíveis algumas estações, planasvias, equipas, meios e ciclos de manutenção.

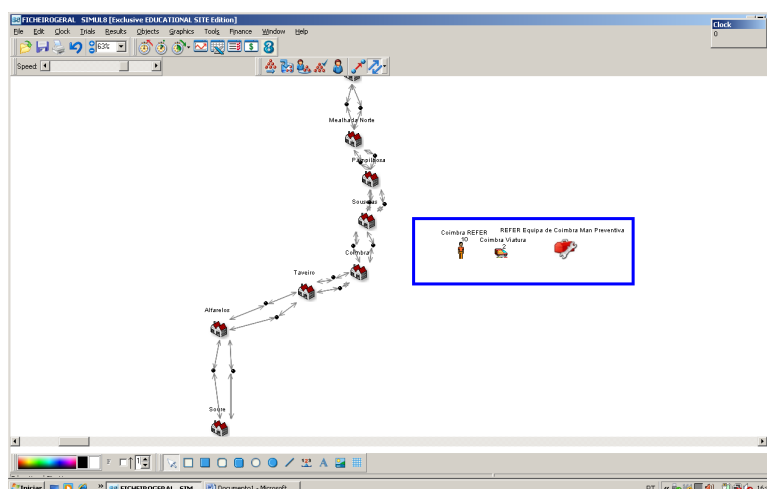


Fig 18 - Imagem parcelar do simulador completo

O aspecto gráfico é distinto do atrás apresentado em virtude de se ter utilizado a possibilidade apresentada pelo simulador de criar subjanelas, escondendo o detalhe para simplificar a visualização.

3.4.1 DESCRIÇÃO DO FUNCIONAMENTO DO MODELO COMPLETO

O simulador de avarias e o ciclo de manutenção preventiva (atrás descritos) competem pelos recursos existentes para cada centro de manutenção.

Assim, cada instalação (no modelo gerador de avarias) que está atribuída a determinada equipa vai requerer, em caso de avaria, os recursos que normalmente estão a ser utilizados para a manutenção preventiva cíclica, libertando-os imediatamente após a reparação concluída.

Quando não existem avarias os recursos estão todos afectos ao serviço de manutenção preventiva.

Importa esclarecer que a utilização dos recursos na reparação das avarias é distinta da sua utilização nos ciclos de manutenção preventiva.

Enquanto que nos ciclos de manutenção preventiva os *workcenters* respectivos necessitam dos recursos para processar a manutenção, nos *workcenters* do gerador de avarias apenas precisam dos recursos para reparar a avaria.

Isto é conseguido através da possibilidade proporcionada pelo simulador de se estabelecer quais os recursos necessários para reparar. Abaixo apresentamos imagem da tela onde é introduzida esta informação.

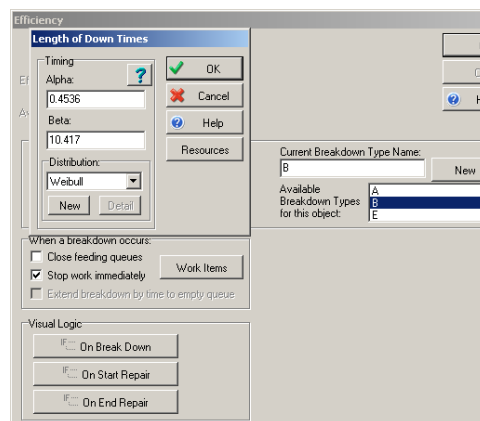


Fig 19 - Tela de introdução dos TR e recursos necessários para reparação

3.4.2 EQUIPAS/MEIOS

As equipas de reparação foram definidas como tendo uma composição de 2 colaboradores e uma viatura, sendo na realidade esta a sua composição para a generalidade das avarias.

3.4.3 FICHEIRO COMPLETO DO SIMULADOR

O ficheiro completo da simulação encontra-se no DVD em anexo sob o caminho:

\\final\simulador geral\ ficheiro geral.S8

4. UTILIZAÇÃO DO MODELO E RESULTADOS OBTIDOS

Uma vez concluída a construção do modelo, iniciámos o processo de utilização do mesmo, tendo em vista o objectivo proposto.

4.1 LIMITAÇÕES DO MODELO

A primeira limitação de que, de imediato, nos apercebemos deve-se à dimensão do modelo, em termos puramente informáticos. O ficheiro do modelo apresenta uma dimensão de 2,990 Kilobytes e quando iniciamos uma corrida de simulação simples, com o tempo de simulação que considerávamos adequado (um ano virtual), a sua dimensão ultrapassa a memória passível de ser gerida pelo sistema Windows de 32 bits (dimensão superior a 2,5 Gigabytes). Esta limitação impede que o simulador possa ser executado pelo período que tínhamos inicialmente previsto nos meios informáticos disponíveis.

Outra limitação que o modelo apresenta é a não consideração das distâncias a percorrer entre o local onde se processa a manutenção preventiva e a reparação da avaria. Esta limitação afecta a análise dos meios necessários para o sistema de manutenção, pois os recursos apresentados como utilizados na simulação serão sempre inferiores aos efectivamente necessários na realidade.

Sem querer ser exaustivo sobre as limitações, existe ainda outra que se salienta e que se traduz na não existência de turnos no modelo, o que na realidade é a forma de operação de algumas equipas.

4.2 ESCOLHA DAS CORRIDAS A REALIZAR

Não existindo quer na REFER, quer no Departamento de Mecânica da FCTUC, tempo de processamento disponível em máquinas com sistemas operativos de 32 bits, optámos por reduzir o tempo de corrida para 219600 minutos (cerca de 5 meses de operação), com um período de aquecimento de 21600 minutos (cerca de 15 dias).

Para podermos realizar séries de corridas de simulação e assim apresentar resultados estatisticamente válidos, tornou-se necessário isolar cada equipa e o seu ciclo de manutenção preventiva, mantendo os tempos atrás referidos para as corridas e aquecimento.

Estando consciente da diferença entre a soma das partes e o todo na simulação, mas tendo presente o objectivo deste trabalho, consideramos que o mesmo é atingido com as escolhas de corridas que nos propusemos realizar.

Assim realizaremos 2 corridas simples distintas com o modelo global parametrizado de forma distinta (como abaixo indicaremos).

Serão também apresentados 6 séries de corridas, 2 para cada tipo de intervenientes (Refer, Thales e Dimetronic).

Estas séries de corridas pretendem apresentar os resultados de equipas distintas com intervenção em troços equivalentes na sua extensão mas diferentes nas tecnologias e estado do ciclo de vida dos activos.

4.3 SIMULAÇÃO COM O MODELO COMPLETO

4.3.1 CORRIDA SIMPLES COM DADOS REAIS E RECURSOS REAIS

Nesta corrida utilizamos as funções de fiabilidade e manutibilidade baseadas nos dados reais da REFER e ainda equipas com dimensões aproximadas das reais.

O simulador utilizado encontra-se no DVD em:

\\final\corridas\corrida6mmreais\corrida1.S8

Os resultados são os constantes no ficheiro no DVD com o caminho

\\final\corridas\corrida6mmreais\corrida1.xls

Dos dados obtidos podemos construir a tabela seguinte:

Recurso	Utilização dos recursos (média)	Recursos disponíveis	Quantidade de Homens e Viaturas utilizados (média)
Campanha Viatura	100,00%	2	2
Campanha Dimetronic	99,86%	10	10
Gaia Viatura	91,48%	2	2
Gaia REFER	88,88%	10	9
Aveiro Dimetronic	86,88%	10	9
Aveiro Viatura	88,68%	2	2
Coimbra REFER	37,52%	10	4
Coimbra Viatura	39,31%	2	1
Pombal Thales	37,77%	10	4
Pombal Viatura	39,94%	2	1
Lamarosa Thales	19,26%	10	2
Lamarosa Viatura	21,89%	2	1
Entroncamento REFER	50,89%	10	6
Entroncamento Viatura	72,74%	2	2
Alverca Thales	38,24%	10	4
Alverca Viatura	41,11%	2	1
Oriente Thales	36,48%	10	4
Oriente Viatura	36,72%	2	1
Apolónia Viatura	99,98%	2	2
Apolónia REFER	63,54%	10	7

Tab 1 - Utilização dos recursos – resultados corrida 1

Nesta tabela verifica-se que existem recursos próximos da utilização plena e outros subaproveitados.

A análise da utilização dos recursos não pode ser apenas efectuada tendo em conta apenas a sua utilização devendo também ser avaliado o cumprimento da execução em horas/homem dos planos de manutenção preventivos.

O trabalho espectável corresponde à soma das tarefas mensais, trimestrais, semestrais e anuais que deveriam estar realizadas no fim do período de amostragem, conforme previamente definido na parametrização dos *workcenters* do ciclo de manutenção preventiva.

Abaixo apresenta-se tabela com horas/homem espectáveis e cumpridas

	Realizado horas/homem	Espectáveis horas/homem	Diferença
Campanhã Horas/Homem (excesso-defeito)	18480	4224	14256
Gaia Horas/Homem (excesso-defeito)	15664	4224	11440
Aveiro Horas/Homem (excesso-defeito)	16016	4224	11792
Coimbra Horas/Homem (excesso-defeito)	7744	4224	3520
Pombal Horas/Homem (excesso-defeito)	7744	4224	3520
Lamarosa Horas/Homem (excesso-defeito)	3520	4224	-704
Entroncamento Horas/Homem (excesso-defeito)	7744	4224	3520
Alverca Horas/Homem (excesso-defeito)	7744	4224	3520
Oriente Horas/Homem (excesso-defeito)	7744	4224	3520
Apolónia Horas/Homem (excesso-defeito)	11792	4224	7568

Tab 2 - Horas/homem por equipa – corrida 1

4.3.2 CORRIDA SIMPLES SEM LIMITES DE RECURSOS E DADOS REAIS

Nesta corrida pretende-se verificar a situação de não condicionar os resultados por limitação dos recursos. Tal é conseguido colocando os recursos em valores extremamente elevados (100 colaboradores e 20 viaturas por centro de manutenção).

O ficheiro do simulador utilizado encontra-se em:

\\final\corridas\corrida6m100h20v\corrida2.S8

Os resultados são os constantes do ficheiro no DVD com o caminho:

\\final\corridas\corrida6m100h20v\corrida2.xls

Dos dados obtidos construímos a seguinte tabela:

Recurso	Utilização dos recursos (média)	Recursos disponíveis	Quantidade de Recursos utilizados (média)
Campanha Viatura	20,02%	20	4
Campanha Dimetric	20,01%	100	20
Gaia Viatura	13,95%	20	3

Gaia REFER	13,60%	100	14
Aveiro Dimetronic	14,05%	100	15
Aveiro Viatura	14,23%	20	3
Coimbra REFER	2,77%	100	3
Coimbra Viatura	2,94%	20	1
Pombal Thales	2,82%	100	3
Pombal Viatura	3,08%	20	1
Lamarosa Thales	0,36%	100	1
Lamarosa Viatura	0,22%	20	1
Entroncamento REFER	4,76%	100	5
Entroncamento Viatura	7,93%	20	2
Alverca Thales	2,84%	100	3
Alverca Viatura	3,13%	20	1
Oriente Thales	2,67%	100	3
Oriente Viatura	2,69%	20	1
Apolónia Viatura	17,56%	20	18
Apolónia REFER	9,87%	100	2

Tab 3 - Utilização de recursos – resultados corrida 2

Como referimos atrás, não é correcto analisar apenas a ocupação das equipas pela tabela acima. Torna-se também necessário verificar o cumprimento dos planos preventivos para avaliar a adequação dos meios disponíveis.

	Realizado horas/homem	Espectáveis horas/homem	Diferença
Campanhã Horas/Homem(excesso-defeito)	36608	4224	32384
Gaia Horas/Homem (excesso-defeito)	24640	4224	20416
Aveiro Horas/Homem (excesso-defeito)	27104	4224	22880
Coimbra Horas/Homem (excesso-defeito)	7040	4224	2816
Pombal Horas/Homem (excesso-defeito)	7040	4224	2816
Lamarosa Horas/Homem (excesso-defeito)	3168	4224	-1056
Entroncamento Horas/Homem (excesso-defeito)	7040	4224	2816
Alverca Horas/Homem (excesso-defeito)	7040	4224	2816
Oriente Horas/Homem (excesso-defeito)	7040	4224	2816
Apolónia Horas/Homem (excesso-defeito)	22880	4224	18656

Tab 4 - Horas/homem por equipa – corrida 2

Podemos concluir que existem equipas em o aumento dos meios provoca um aumento das horas disponíveis para trabalhos de manutenção preventiva e outras em que tal não se verifica, o que parece indicar, para estas últimas, que o peso das intervenções correctivas será substancial em face do peso das intervenções preventivas.

4.4 SIMULAÇÃO DE UMA EQUIPA REFER – O CASO ENTRONCAMENTO

Nesta simulação iremos simplificar o modelo geral eliminando os ciclos de manutenção preventiva das outras equipas, permitindo assim a realização de uma série de 3 simulações.

Esta opção prende-se com as limitações computacionais antes apresentadas.

4.4.1 DESCRIÇÃO DA INSTALAÇÃO E MOTIVAÇÃO PARA A SUA ESCOLHA

A instalação na Linha do Norte, sob a responsabilidade da equipa do Entroncamento, é de tecnologia electromecânica de duas gerações distintas.

A estação do Entroncamento, da geração mais avançada nesta tecnologia, foi fornecida pela Siemens e consiste numa instalação com encravamentos de segurança a relés e comando eléctrico dos itinerários e agulhas. Trata-se da maior instalação deste tipo actualmente ao serviço na rede ferroviária nacional e data do fim dos anos sessenta do século XX. Também os troços entre estações são da mesma tecnologia.

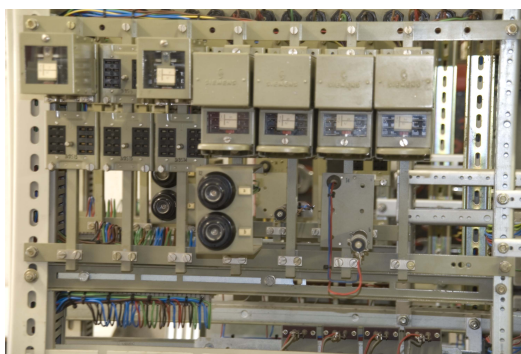


Fig 20 - Encravamento a relés tecnologia Siemens

Todas as outras estações, no troço sob manutenção desta equipa, pertencem a uma geração anterior que data dos anos cinquenta do século XX. Trata-se aqui de uma tecnologia também a relés, de tipo Jeumont, no entanto não possui agulhas eléctricas e o comando dos itinerários é manual. O encravamento de segurança é realizado com relés e sistemas mecânicos de chaves.



Fig 21 - Mesa de comando Jeumont - Santarém

O comando da circulação é efectuada ao nível das estações, não existindo um centro operacional que permita o comando das instalações à distância.

A extensão da zona de influência da manutenção do Entroncamento prolonga-se desde a estação de Santarém até à estação de Entroncamento.

A escolha da equipa do Entroncamento para analisar a performance das equipas da REFER prende-se com o facto de a sua intervenção se dar exclusivamente na Linha do Norte, numa secção não terminal.

As outras equipas (Sta Apolónia, Coimbra e Gaia) têm sobre a sua responsabilidade outras linhas ou ramais ou trabalham sobre uma estação terminal.

4.4.2 SÉRIE DE CORRIDAS COM DADOS REAIS E RECURSOS REAIS

O ficheiro de simulação utilizado encontra-se no DVD em:

\\final\corridas\corridaentroncamentoreal\modelo_entroncamento.S8

Os resultados da série de corridas são os constantes no ficheiro no DVD em:

\\final\corridas\corridaentroncamento\corrida3.xls

A tabela abaixo apresenta a utilização de recursos com um intervalo de 95% de fiabilidade para esta equipa.

Recursos	-95%	Média	95%
Entroncamento REFER	50,58%	50,87%	51,16%
Entroncamento Viatura	71,95%	72,69%	73,42%

Tab 5 - Utilização dos recursos – corrida 3

O cumprimento dos planos preventivos é apresentado na tabela abaixo

	Horas/homem	Espectável horas/homem	Diferença
Entroncamento Horas/Homem (excesso-defeito)	7744	4224	3520

Tab 6 - Cumprimento dos planos de manutenção preventiva – corrida 3

Dos resultados obtidos e para estas horas/homem espectáveis de manutenção preventiva, não existirá uma limitação de meios humanos ou materiais.

4.4.3 SÉRIE DE CORRIDAS SEM LIMITES DE RECURSOS E DADOS REAIS

O ficheiro de simulação utilizado encontra-se no DVD em:

\\final\corridas\corridaentroncamentorecursos\entroncamento_rec.S8

Os resultados da série de corridas são os constantes no ficheiro no DVD em:

\\final\corridas\corridaentroncamentorecursos\corrida4.xls

A tabela abaixo apresenta, à semelhança do caso anterior, a utilização de recursos com um intervalo de 95% de fiabilidade para esta equipa:

Recursos	-95%	Média	95%
Entroncamento REFER	47,24%	47,70%	48,15%
Entroncamento Viatura	78,37%	79,50%	80,64%

Tab 7 - Utilização de recursos – corrida 4

De igual forma, o cumprimento dos planos preventivos é apresentado na tabela abaixo:

	Horas/homem	Espectável horas/homem	Diferença
Entroncamento Horas/Homem (excesso-defeito)	7040	4224	2816

Tab 8 - Cumprimento dos planos de manutenção preventiva – corrida 4

Constata-se uma variação negativa nas horas/homem em face da corrida anterior o que poderá indicar uma preponderância do trabalho de manutenção correctiva em face do trabalho de manutenção preventiva.

4.5 SIMULAÇÃO DE UMA EQUIPA DIMETRONIC – O CASO AVEIRO

O procedimento de configuração do simulador é em tudo semelhante ao do caso REFER, sendo que aqui os elementos em análise são os da equipa Dimetronic de Aveiro.

4.5.1 DESCRIÇÃO DA INSTALAÇÃO E MOTIVAÇÃO PARA A SUA ESCOLHA

A instalação na Linha do Norte sob manutenção da equipa Dimetronic de Aveiro é representativa de uma das duas tecnologias de estado sólido mais modernas ao serviço na rede ferroviária nacional. Trata-se aqui de tecnologia do tipo SSI (solid state interlocking), desenvolvida inicialmente para a ex-British Rail e que se caracteriza por ser electrónica, com equipamentos distribuídos e possibilidade de comando de largas secções da linha à distancia, em centros de comando operacional.

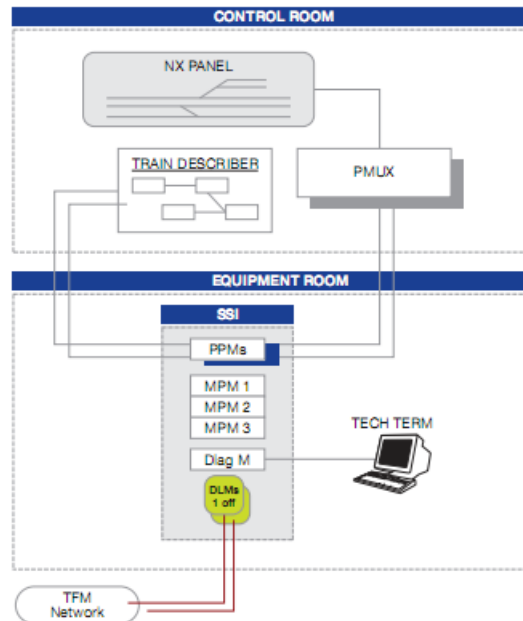


Fig 22 - Princípio de funcionamento SSI (Alstom, 2009)

Em Portugal a primeira instalação deste tipo surgiu na ponte de S. João no Porto no início da década de noventa do século XX, seguindo-se o itinerário do carvão (Sines – Mouriscas), a estação de Souselas e a ligação Lisboa-Algarve.

A instalação SSI na linha do Norte está na totalidade sob a manutenção desta equipa e tem como limites Souselas e Ovar (exclusive). A estação de Pampilhosa dentro deste troço ainda subsiste com tecnologia anterior. A sua instalação, salvaguardando Souselas, ficou concluída em 2004.

A equipa Dimetronic de Aveiro dedica-se exclusivamente à linha do Norte.

A Dimetronic é um dos dois prestadores de serviços de Manutenção para a REFER em sinalização.

No caso concreto da instalação na Linha do Norte, esta é comandada e controlada a partir do Centro de Comando Operacional do Porto, um dos dois actuais centros existentes na rede ferroviária nacional.



Fig 23 - Interior do CCO do Porto

4.5.2 SÉRIE DE CORRIDAS COM DADOS REAIS E RECURSOS REAIS

O ficheiro de simulação utilizado encontra-se no DVD em:

\\final\corridas\corridaaveiroreal\modelo_aveiro.S8

Os resultados da série de corridas são os constantes no ficheiro no DVD em:

\\final\corridas\corridaaveiroreal\corrida5.xls

A tabela abaixo apresenta, à semelhança do caso anterior, a utilização de recursos com um intervalo de 95% de fiabilidade para esta equipa:

Recursos	-95%	Média	95%
Aveiro Dimetronic	86,30%	87,30%	88,30%
Aveiro Viatura	88,11%	89%	89,92%

Tab 9 - Utilização de recursos – corrida 5

À semelhança do caso anterior, o cumprimento dos planos preventivos é apresentado na tabela abaixo:

	Horas/homem	Espectável horas/homem	Diferença
Aveiro Horas/Homem (excesso-defeito)	16016	4224	11792

Tab 10 - Cumprimento dos planos de manutenção preventiva – corrida 5

Dos resultados obtidos e para estas horas/homem expectáveis de manutenção preventiva, não existirá limitação de meios humanos e materiais.

4.5.3 SÉRIE DE CORRIDAS SEM LIMITES DE RECURSOS E DADOS REAIS

O ficheiro de simulação utilizado encontra-se no DVD em:

\\final\corridas\corridaaveirorecursos\modelo_aveirorec.S8

Os resultados da série de corridas são os constantes no ficheiro no DVD em:

\\final\corridas\corridaaveirorecursos\corrida6.xls

Mais uma vez e de igual modo, a tabela abaixo apresenta a utilização de recursos com um intervalo de 95% de fiabilidade para esta equipa:

Recursos	-95%	Média	95%
Aveiro Dimetronic	14,04%	14,05%	14,06%
Aveiro Viatura	14,22%	14,24%	14,26%

Tab 11 - Utilização dos recursos – corrida 6

À semelhança do caso anterior, o cumprimento dos planos preventivos é apresentado na tabela abaixo:

	Horas/homem	Espectável horas/homem	Diferença
Aveiro Horas/Homem (excesso-defeito)	27104	4224	22880

Tab 12 - Cumprimento dos planos de manutenção preventiva – corrida 6

O aumento substancial nas horas/homem de manutenção preventiva indica uma preponderância na ocupação dos meios humanos em manutenção preventiva e não em manutenção correctiva.

4.6 SIMULAÇÃO DE UMA EQUIPA THALES – O CASO POMBAL

De forma análoga à utilizada nas equipas de Entroncamento e Aveiro o simulador geral foi adaptado, permitindo assim a recolha de uma série de corridas da equipa Thales de Pombal.

4.6.1 DESCRIÇÃO DA INSTALAÇÃO E MOTIVAÇÃO PARA A SUA ESCOLHA

A área sob manutenção da equipa Thales de Pombal tem os seus limites em Albergaria dos Doze e Alfarelos (exclusive).

A instalação é de tecnologia electrónica do tipo ESTW, fornecida pela Alcatel-SEL/Thales. Esta tecnologia começou a ser instalada na década de noventa do século XX, na travessia Norte-Sul, zona suburbana de Lisboa e Linha da Beira Alta. Trata-se de uma das tecnologias mais modernas de estado sólido, em utilização na rede ferroviária nacional, à semelhança do SSI.

Esta tecnologia foi inicialmente desenvolvida pela Alcatel/SEL/Thales para a Deutsche Bahn existindo um elevado número de instalações na Alemanha e França. A instalação neste troço da Linha do Norte data do ano 2000.

Ao contrário da tecnologia SSI (utilizada, por exemplo, na zona de Aveiro), o ESTW é uma tecnologia centralizada, encontrando-se os equipamentos de encravamento electrónico colocados em pontos centrais ao longo da linha. Destes pontos partem para os equipamentos terminais cabos com relativa extensão.

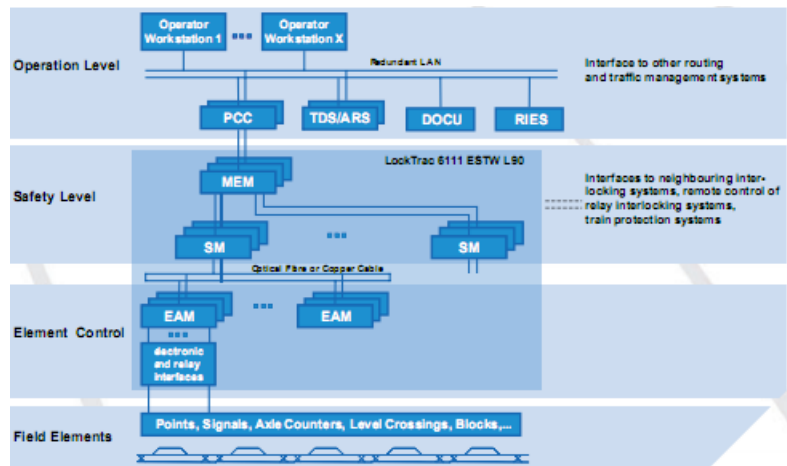


Fig 24 - Princípio de funcionamento ESTW (Thalesgroup, 2009)

O comando e controlo são pois de natureza electrónica, sendo possível a centralização em centros de comando operacional a grande distância. A instalação sob manutenção de Pombal encontra-se sob o comando e controlo do Centro de Comando Operacional de Lisboa.

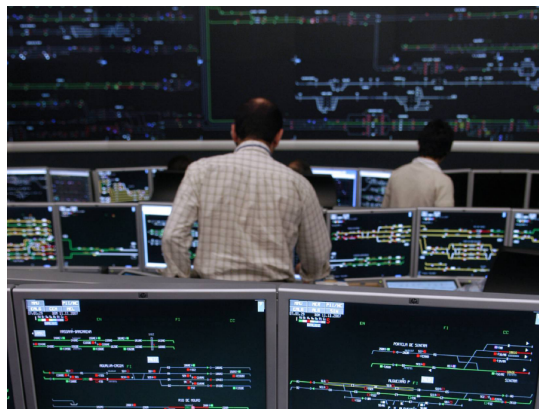


Fig 25 - Interior do CCO de Lisboa

A Thales é o segundo prestador de serviços de manutenção para a REFER, na área de sinalização. Esta equipa trabalha exclusivamente na Linha do Norte.

4.6.2 SÉRIE DE CORRIDAS COM DADOS REAIS E RECURSOS REAIS

O ficheiro de simulação utilizado encontra-se no DVD em:

\\final\corridas\corridapombalreal\modelo_pombal.S8

Os resultados da série de corridas são os constantes no ficheiro no DVD em:

\\final\corridas\corridapombalreal\corrida7.xls

Ainda de igual modo, a tabela abaixo apresenta, a utilização de recursos com um intervalo de 95% de fiabilidade para esta equipa.

Recursos	-95%	Média	95%
Pombal Thales	33%	39%	45%
Pombal Viatura	27%	42%	58%

Tab 13 - Utilização dos recursos – corrida 7

Analogamente o cumprimento dos planos preventivos é apresentado na tabela abaixo:

	Horas/homem	Espectável horas/homem	Diferença
Pombal Horas/Homem (excesso-defeito)	7744	4224	3520

Tab 14 - Cumprimento dos planos de manutenção preventivos – corrida 7

Dos resultados obtidos e para estas horas/homem espectáveis de manutenção preventiva, não existirá uma limitação de meios humanos e materiais.

4.6.3 SÉRIE DE CORRIDAS SEM LIMITES DE RECURSOS E DADOS REAIS

O ficheiro de simulação utilizado encontra-se no DVD em:

\\final\corridas\corridapombalreal\modelo_pombalrec.S8

Os resultados da série de corridas são os constantes no ficheiro no DVD em:

\\final\corridas\corridapombalreal\corrida8.xls

A utilização de recursos é apresentada na tabela abaixo:

Recursos	-95%	Média	95%
Pombal Thales	1,91%	3,11%	4,32%
Pombal Viatura	0,79%	3,80%	6,82%

Tab 15 - Utilização dos recursos – corrida 8

De forma semelhante, o cumprimento dos planos preventivos é apresentado na tabela abaixo:

	Horas/homem	Espectável horas/homem	Diferença
Pombal Horas/Homem (excesso-defeito)	7040	4224	2816

Tab 16 - Cumprimento dos planos de manutenção preventivos – corrida 8

Existe uma variação negativa face à corrida anterior o que indicará uma preponderância da manutenção correctiva sobre a manutenção preventiva.

5. ANÁLISE DE RESULTADOS

Tratando-se de um modelo com, pelo menos, as limitações acima elencadas e tendo ainda presente o tempo de duração da amostra para o cálculo dos MTBF e MTTR é necessária uma particular atenção na análise dos resultados.

5.1 MODELO GLOBAL

Da corrida realizada com o modelo global e com os recursos reais podemos sintetizar na tabela seguinte os resultados obtidos:

Recurso	Utilização dos recursos (média)	Horas em manutenção preventiva (% do previsto)
Campanha Viatura	100,00%	-
Campanha Dimetronic	99,86%	437,50%
Gaia Viatura	91,48%	-
Gaia REFER	88,88%	370,83%
Aveiro Dimetronic	86,88%	379,17%
Aveiro Viatura	88,68%	-
Coimbra REFER	37,52%	183,33%
Coimbra Viatura	39,31%	-
Pombal Thales	37,77%	183,33%
Pombal Viatura	39,94%	-
Lamarosa Thales	19,26%	83,33%
Lamarosa Viatura	21,89%	-
Entroncamento REFER	50,89%	183,33%
Entroncamento Viatura	72,74%	-
Alverca Thales	38,24%	183,33%
Alverca Viatura	41,11%	-
Oriente Thales	36,48%	183,33%
Oriente Viatura	36,72%	-
Apolónia Viatura	99,98%	-
Apolónia REFER	63,54%	279,17%

Tab 17 - Quadro resumo dos resultados - corrida 1

Da corrida realizada sem limites de recursos temos a seguinte tabela:

Recurso	Utilização dos recursos (média)	Horas em manutenção preventiva (% do previsto)
Campanha Viatura	20,02%	-
Campanha Dimetronic	20,01%	866,67%
Gaia Viatura	13,95%	-
Gaia REFER	13,60%	583,33%
Aveiro Dimetronic	14,05%	641,67%
Aveiro Viatura	14,23%	-
Coimbra REFER	2,77%	166,67%
Coimbra Viatura	2,94%	-
Pombal Thales	2,82%	166,67%
Pombal Viatura	3,08%	-
Lamarosa Thales	0,36%	75,00%
Lamarosa Viatura	0,22%	-

Entroncamento REFER	4,76%	166,67%
Entroncamento Viatura	7,93%	-
Alverca Thales	2,84%	166,67%
Alverca Viatura	3,13%	-
Oriente Thales	2,67%	166,67%
Oriente Viatura	2,69%	-
Apolónia Viatura	17,56%	-
Apolónia REFER	9,87%	541,67%

Tab 18 - Quadro resumo dos resultados - corrida 2

Dos resultados apresentados verifica-se um sobredimensionamento muito elevado das equipas/meios em quatro delas (Sta Apolónia-REFER, Aveiro-Dimetronic, Gaia-REFER e Campanha-Dimetronic).

Existem quatro equipas sobredimensionadas, mas com valores idênticos (Oriente-Thales, Entroncamento-REFER, Pombal-Thales, Coimbra-REFER).

Existe uma equipa (Lamarosa-Thales) com um valor atípico. A explicação para esta situação, no nosso entender, prende-se pela falta de quantidade e qualidade de histórico de falhas, o que poderá explicar os valores resultantes da simulação.

Tendo em conta a existência ou não de outras linhas ou ramais sob manutenção da equipa, podemos ordenar as equipas pelo seu nível de utilização da seguinte forma:

Recurso	Utilização dos recursos (média)	Horas em manutenção preventiva (% do previsto)	ICE
Lamarosa Thales (Tomar)	19,26%	83,33%	164,07%
Coimbra REFER (Oeste, Lousã, Fig.Foz e Alfarelos)	37,52%	166,67%	245,81%
Oriente Thales (cintura)	36,48%	183,33%	246,85%
Campanha Dimetronic (Mínho)	99,86%	437,50%	437,64%
Entroncamento REFER	50,89%	183,33%	232,44%
Alverca Thales	38,24%	183,33%	245,09%
Pombal Thales	37,77%	183,33%	245,56%
Apolónia REFER	63,54%	279,17%	315,63%
Gaia REFER	88,88%	370,83%	381,95%
Aveiro Dimetronic	86,88%	379,17%	392,29%

Tab 19 - Sieriação das produtividades – corrida 1

A sombreado na tabela acima apresentam-se as equipas com outras linhas ou ramais sobre manutenção.

O Índice de Capacidade em Excesso (ICE) é obtido pela fórmula seguinte:

$$ICE = (1 - \text{utilização dos recursos})\% + (\text{manutenção realizada/manutenção prevista})\% \quad (7)$$

No caso da simulação sem recursos limitados a sieriação de adequabilidades dos recursos é a constante da tabela abaixo:

Recurso	Utilização dos recursos (média)	Horas em manutenção preventiva (% do previsto)	ICE
Lamarosa Thales (Tomar)	0,36%	75,00%	174,64%
Coimbra REFER (Oeste, Lousã, Fig.Foz e Alfarelos)	2,77%	183,33%	245,81%
Oriente Thales (cintura)	2,67%	166,67%	264,00%
Campanha Dimetronic (Minho)	20,01%	866,67%	946,66%
Entroncamento REFER	4,76%	166,67%	261,91%
Alverca Thales	2,84%	166,67%	263,83%
Pombal Thales	2,82%	166,67%	263,85%
Apolónia REFER	9,87%	541,67%	631,80%
Gaia REFER	13,60%	583,33%	669,73%
Aveiro Dimetronic	14,05%	641,67%	727,62%

Tab 20 - Sérição das produtividades – corrida 2

Da análise da utilização das viaturas, das corridas 1 e 2 podemos apresentar o seguinte quadro resumo:

Recurso	Utilização dos recursos (média) corrida 1	Nº Viaturas	Utilização dos recursos (média) corrida 2	Nº Viaturas
Campanha Viatura	100,00%	2	20,02%	4
Gaia Viatura	91,48%	2	13,95%	3
Aveiro Viatura	88,68%	2	14,23%	3
Coimbra Viatura	39,31%	1	2,94%	1
Pombal Viatura	39,94%	1	3,08%	1
Lamarosa Viatura	21,89%	1	0,22%	1
Entroncamento Viatura	72,74%	2	7,93%	2
Alverca Viatura	41,11%	1	3,13%	1
Oriente Viatura	36,72%	1	2,69%	1
Apolónia Viatura	99,98%	1	17,56%	4

Tab 21 - Utilização de viaturas – modelo global corridas 1 e 2

Da tabela verifica-se que as equipas a sombreado apresentam um número constante na utilização de viaturas. Tal facto parece indicar que o número de viaturas não será facto condicionante para a execução dos trabalhos. Esta conclusão está, no entanto, ferida por um erro de base, dado que, a análise da utilização das viaturas não pode ser aprofundada pois o modelo não atribui distâncias físicas entre equipamentos instalados e locais de execução das tarefas de manutenção preventiva. Assim o factor tempo de deslocação/utilização das viaturas não é reflectido.

5.2 COMPARAÇÃO DE RESULTADOS ENTRE OS TRÊS CASOS DE ESTUDO APRESENTADOS

A tabela abaixo apresenta o resumo das três séries de corridas com meios reais (10 homens/2 viaturas) para as três equipas antes seleccionadas:

Recursos	Média de utilização	Horas em manutenção preventiva (% do previsto)	ICE
Aveiro Dimetronic	87,30%	379,17%	391,87%
Aveiro Viatura	89%	-	-
Pombal Thales	39%	183,33%	244,33%
Pombal Viatura	42%	-	-
Entroncamento REFER	50,87%	183,33%	232,46%
Entroncamento Viatura	72,69%	-	-

Tab 22 - Adequabilidades comparadas com meios reais

Com os meios não limitados (100 homens/20 viaturas) o resultado comparado é o seguinte

Recursos	Média de utilização	Horas em manutenção preventiva (% do previsto)	ICE
Aveiro Dimetronic	14,05%	641,67%	727,62%
Aveiro Viatura	14,24%	-	-
Pombal Thales	3,11%	166,67%	263,56%
Pombal Viatura	3,80%	-	-
Entroncamento REFER	47,70%	166,67%	218,97%
Entroncamento Viatura	79,50%	-	-

Tab 23 - Adequabilidades comparadas sem limitação de recursos

Dos resultados das duas corridas podemos inferir que no caso das equipas de Entroncamento e de Pombal existirá uma preponderância na ocupação dos meios humanos na manutenção correctiva e no caso da equipa de Aveiro existirá uma maior disponibilidade para a manutenção preventiva. A equipa de Entroncamento consegue mesmo uma redução do seu índice ICE quando tem mais meios humanos disponíveis.

Relativamente à utilização das viaturas o quadro obtido é o seguinte:

Recurso	Utilização dos recursos (média) corrida real	Nº Viaturas	Utilização dos recursos (média) corrida sem limites	Nº Viaturas
Aveiro Viatura	89%	2	14,24%	3
Pombal Viatura	42%	1	3,80%	1
Entroncamento Viatura	72,69%	2	79,50%	2

Tab 24 - Utilização das viaturas nas 3 equipas

Dos resultados obtidos verifica-se que não existirá um condicionamento nas acções, por motivo de falta de viaturas, em duas das equipas (Entroncamento e Pombal). Esta conclusão poderá ser apressada pelo facto de o modelo não reflectir as

distâncias, o que se reflectirá numa não consideração dos tempos de deslocação/utilização das viaturas.

6. CONCLUSÕES

É possível obter resultados comparativos de adequação das equipas ao trabalho que tem de executar partindo da utilização do simulador, o que no nosso entender, demonstra a possibilidade de se utilizar simuladores numéricos para aferir a capacidade de manutenção instalada e consequentemente otimizar o seu uso em face do estado dos activos.

Os valores numéricos resultantes das corridas do modelo devem, no entanto, ser interpretados com precaução, tendo em conta as suas limitações.

Assim, ao excesso de capacidade apresentado pelo índice ICE, há (pelo menos) que subtrair a capacidade (em horas/homem percentuais) consumida por:

- absentismo (férias, feriados, faltas, etc);
- tempos de deslocação entre os equipamentos/sistemas;
- trabalho sobre outras linhas/ramais que as equipas também têm sobre a sua responsabilidade operacional.

Por outro lado, a dimensão das equipas apresentada como real neste trabalho (10 homens/2 viaturas), apresenta ligeiras diferenças das efectivamente existentes e não contempla, em alguns casos, turnos de trabalho contínuo, que não são reflectidos no modelo.

Outro dos resultados obtidos prende-se com a caracterização dos activos através de um estudo estatístico sobre as falhas dos sistemas. Neste aspecto verifica-se também que, com os sistemas informáticos existentes na REFER, é já possível aferir o estado dos activos por segmentação em estações e troços entre-estações.

Este detalhe, conseguido por conjuntos de equipamentos do mesmo tipo instalados no mesmo troço, permite uma aferição do custo da disponibilidade pelos segmentos de linha (estação/entre-estações), o que corresponde ao detalhe efectivamente utilizado pela exploração da infra-estrutura.

Ainda como consequência deste trabalho é possível verificar o risco que se corre, para uma dada frequência de inspecções/manutenções preventivas, caso se decida adoptá-la para um determinado conjunto de equipamentos do mesmo tipo.

7. CAMINHOS POSSÍVEIS DE EVOLUÇÃO DO SIMULADOR E SUA APLICABILIDADE

O simulador pode ver reflectidos a localização geográfica dos ciclos de manutenção preventiva (e aumentar o seu detalhe), ser alargado à generalidade das linhas e ramais que estão sob a responsabilidade das equipas, ver introduzidos os turnos de trabalho, as indisponibilidades para trabalho por absentismo e a realidade efectiva dos meios disponíveis.

Com essas alterações, com a introdução de modelos de falhas para as outras especialidades ferroviárias (Via e Catenária), e com a introdução dos recursos afectos a estas especialidades e uma actualização dos modos de falha periódica partindo das bases de dados da REFER, será possível aferir do risco que se corre para uma dada disponibilidade pretendida, tendo presente os meios disponíveis para a manutenção.

A disponibilidade/risco intrínseco que se obteria configuraria assim um input importante para o cálculo da disponibilidade operacional com que se elaboram os horários técnicos para disponibilizar aos operadores.

Também, junto do Estado e tendo presente o objectivo de contratualização de serviço público de gestão da infra-estrutura, seria possível demonstrar o risco associado para um determinado nível de desempenho a contratualizar com os meios existentes.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALSTOM, “www.signallingsolutions.info”, 2009

ASSIS, Rui “*Comparação de políticas alternativas de manutenção na perspectiva dos custos e da disponibilidade*”, 2007, Comunicação ao congresso da Associação Portuguesa de Manutenção Industrial – Lisboa

BAZARGHAN-LARI, Massoud *et al.* “*A simulation approach to manpower planning*”, proceedings of the 2003 Winter simulation Conference - Daytona Beach

CRUZ, Dario – Fotografias de Espinho (2008)

ECO, Umberto – “*Como se faz uma tese em ciências humanas*”, 1982, Editorial Presença – Barcarena-Lisboa

FERREIRA, Luís Andrade “*Uma introdução à Manutenção*”, 1998, Publindústria - Porto

LEAL Jr., Olavo Pinto – “*Optimização da frequência na manutenção preventiva*”, 2006, comunicação ao XXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Fortaleza-Brazil

JONES, Bronwyn “*Simulation in Support of Operations – A Simulation for airline engine maintenance management*”, 2005, System Engineering Dep. Cranfield University-UK

MARCORIN, Wilson Roberto *et al.* “*Análise dos custos de manutenção e de não-manutenção dos equipamentos produtivos*”, 2003, Revista de Ciência e Tecnologia vol.11, Brasil

McGREGOR, Daniel W. *et al.* “*An introduction to Simul8*”, 2004, Dep. of Management University of Canterbury – New Zealand

MOBLEY, R. Keith “*An introduction to Predictive Maintenance*”, 1990, Van Nostrand Reinhold – New York

NOBRE, João Paulo da Silva Gil “*Diapositivos de apoio a Disciplina de Gestão de Manutenção*”, 2008 Grupo de Controlo de Gestão DEM-FCTUC, Coimbra

ORTUZAR, Juan de Dios & WILLUMSEN, Luis G. “*Modelling Transport*”, 2001, John Wiley & Sons, Ltd, London

PATTON JR., Joseph D. “*Preventive Maintenance*”, 1983, Instrument Society of America - Research Triangle Park - North Carolina

PINTO, Carlos Varela “*Organização e Gestão da Manutenção*”, 1999, Monitor - Lisboa

PROFILLIDIS, V.A. “*Railway Engineering*”, 2000, Ashgate Publishing – Aldershot-UK

REFER, EPE “www.refer.pt”, 2009

SHALLIKER, Jim *et al* “*An introduction to Simul8 release twelve*”, 2005, Scholl of Mathematics and Statistics - University of Plymouth – Plymouth

SOUZA, Strauss Sydio de *et al*. “*Manutenção centrada na fiabilidade como ferramenta estratégica*”, 2003, comunicação ao XXIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Ouro Preto Brasil

SIMUL8 Corporation “*Manual and Simulation guide*”, 2003, Simul8 Corporation, Boston

STEVENSON, William J. “*Operations Management*”, 2002, McGrawHill Higher Education - New York

STONEHAM, Derek “*The Maintenance Management and Technology Handbook*”, 1998, Elsevier Science – Oxford

THALESGROUP, www.thalesgroup.com, 2009

VISSER, J.K. *et al* “*A simulation technique for optimising maintenance teams for a service company*”, 2007, South African Journal of Industrial Engineering vol. 18 – Pretoria

WUTTKE, Régis André “*Cálculo da disponibilidade e da posição na curva da banheira de uma válvula de processo petroquímico*”, 2008, Revista de Produção Associação Brasileira de Engenharia de Produção – Universidade de Santa Catarina

ANEXOS

DESCRIÇÃO			
Data/Hora Início:	<input type="text" value="2009-06-24 00:50"/>	Data/Hora Fim:	<input type="text" value="2009-06-24 01:30"/>
Reportada por:	<input type="text" value="Pessoal Cº 92206"/>	Nº Ocorrência:	62912
Classificação:	<input type="text" value="INFRAESTRUTURA - Sinalização"/> <input type="text" value="Avaria em sinal"/>	Estado:	<input type="text" value="FECHADA"/>
Narrativa:	<input type="text" value="Indicador do sinal S2 avariado. Reparado."/>	Responsabilidade:	<input type="text" value="REFER"/>
LIGAÇÕES:			
Nº Remedy: <input type="text" value="49187"/>			
Nº RTEcom:			
Nº PCT:			

LOCALIZAÇÃO, ÁREAS DE INFLUÊNCIA E COMBOIO ENVOLVIDO			
Linha início:	<input type="text" value="Linha do Norte"/>		
Segmento:	<input type="text" value="LISBOA-STA APOLÓNIA / PORTO-CAMPANHÃ"/>		
Via:	<input type="text" value="VD entre PORTO-CAMPANHÃ e ALVERCA"/>		
Local na via:	<input type="text" value="Estação/dependência"/>		
Dep. montante:	<input type="text" value="OIÃ"/>		
Pk (m):	<input type="text" value="258046"/>		
Nº comboio:	<input type="text"/>	Motoras:	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>
Posto comando:	<input type="text" value="CCO Pt Norte, Campanhã e Contumil"/>	Un. Operacional:	<input type="text" value="UO Norte"/>
Concelho:	<input type="text" value="OLIVEIRA DO BAIRRO"/>	Distrito:	<input type="text" value="AVEIRO"/>

COORDENADAS GEOGRÁFICAS			
Datum 73:	X: <input type="text" value="-35295"/>	Y: <input type="text" value="97252"/>	
WGS 84:	Lat: <input type="text" value="40.54334401"/>	Lon: <input type="text" value="-8.54976379"/>	

CONSEQUÊNCIAS			
Danos humanos	Danos materiais	Impacto na circulação	
Mortos: <input type="text" value="0"/>		Atraso (minutos):	<input type="text" value="0"/>
Feridos: <input type="text" value="0"/>		Supressões totais:	<input type="text" value="0"/>
		Supressões parciais:	<input type="text" value="0"/>
		Nº comb. penalizados:	<input type="text" value="0"/>

ENTIDADES ENVOLVIDAS			
REFER	Prestadores serviços	Operadores	Entidades externas
P.I. Central/Regional			

DADOS DE REGISTO							
Inserido:	<input type="text" value="taveira"/>	Dt. Ins.:	<input type="text" value="2009-06-24 01:39"/>	Actual:	<input type="text" value="taveira"/>	Dt. Act.:	<input type="text" value="2009-06-24 01:40"/>

RD - AVARIA/OCORRÊNCIA Nº 49187 REGISTRADA PELO PI Porto

DESCRIÇÃO:

Data início:	2009-06-24 00:50	Data fim:	2009-06-24 01:30	Estado:	Resolvido
Comunicada por:	VIEIRA, Tito Fernando Amaral	Entidade:	UON - CCO Porto - Supervisão	Hora de comunicação:	2009-06-24 00:50
Classificação:	Sinalização Anomalia em Sinal	Nº RDC:	62912		
Resumo:	Oiã. Sinal S2 Oiã com avaria no indicador de linha.			Prioridade:	Baixa

LOCALIZAÇÃO:

Linha:	Linha do Norte Lisboa Santa	Via:		Local:	Oiã
Segmento:	Apolónia / Porto Campanhã	Km:	258,046	Unidade Operacional:	UO Norte

RESOLUÇÃO:

Prestador serviços:	DIMETRONIC SIGNALS	Orgão Técnico:	UON Sinalização	Saída brigada da sede:	
Comunicado a:	vítor	Equipa Refer:	UON Man Aveiro Sin Eq Aveiro	Regresso brigada à sede:	
Hora comunicação:	2009-06-24 00:52				

Data / Hora	Operador	Descrição
2009-06-24 01:26	jopereir	Sinal S2 Oiã com avaria no indicador de linha.
2009-06-24 01:32	jopereir	Foi reparado o suporte da lampada que se encontrava desapertado.

IMPACTOS		INDICADORES (hh:mm)	
Impacto na Segurança?	Não	Tempo de comunicação:	00:02
Impacto na Circulação?	Não	Tempo de reacção:	00:35
Imputável à Manutenção?	Sim	Tempo de reparação:	00:05
A incluir nos indicadores Manutenção?	Sim	Duração da avaria:	00:40

LIGAÇÃO AO SAP-PM:

Nota SAP:	21080976	Local de Instalação:	I-REF-LI08-SIN- EOIA-AEXT » Est. Oiã Aparelh. Ext.	Equipamento:			
Início	Fim	Causa	Ações	Nº da ordem	Custo	Status ordem	Nota
2009-06-24 00:00	0000-00-00 00:00				0,00€		21080976

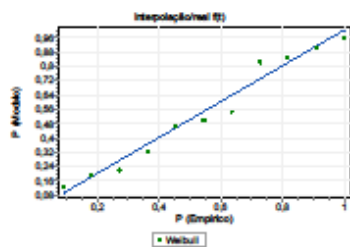
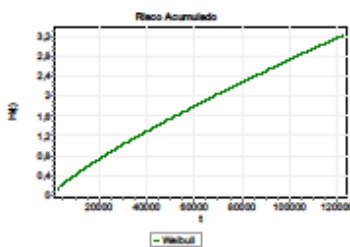
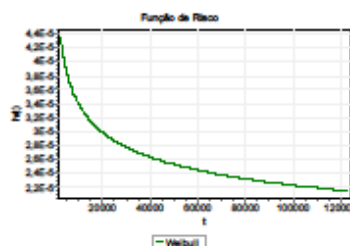
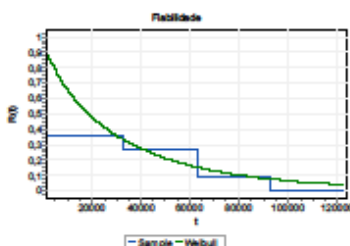
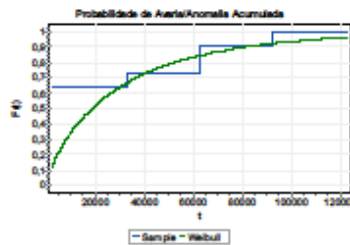
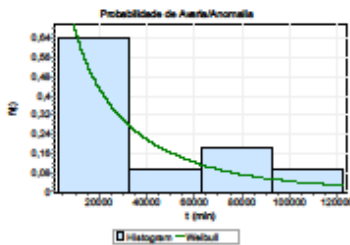
DADOS DE REGISTO:

Registo inserido por:	jopereir	Data primeiro registo:	24-06-2009 00:26:01
------------------------------	----------	-------------------------------	---------------------

<http://aplicacoes.refer.pt/GestaoServico/RDI-NOVO/RDIOccorrenciaPrint.aspx?param...> 24-06-2009

Souselas – Anomalia em Agulhas

TBF (min)	TTR (min)
83620	44
122780	86
9450	70
18450	20
63440	62
16600	0
4380	85
22035	25
56493	19
2511	15
5361	74



TBF: Weibull
0,8182;29379;0
TTR: Uniforme
-8,3891;99,356
MTBF: 32768 min
MTTR: 45 min

Kolmogorov-Smirnov - TBF					
Sample Size	11				
Statistic	0,1823				
P-Value	0,79655				
α	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01
Critical Value	0,30829	0,35242	0,39122	0,4367	0,4677
Reject?	No	No	No	No	No