

Rui Manuel Ferreira Canuto

**As Melhores Práticas de Gestão
para a Melhoria da Fiabilidade Operacional**

**Tese a submeter para a obtenção do grau de Doutor em Gestão
na especialidade de Produção e Serviços**

Orientadores:

**Prof. Doutor Filipe José Didelet Pereira
Prof. Doutor Amílcar dos Santos Gonçalves**



2009

Resumo

As funções e as práticas operacionais industriais da produção e da manutenção inerentes à exploração dos equipamentos produtivos devem garantir o conhecimento e a avaliação dos riscos de avaria para maximizar a fiabilidade operacional e a disponibilidade dos equipamentos assim como a redução dos custos operacionais. Numa actividade industrial tão relevante para a economia do país como a da produção de pasta para papel a gestão operacional tem um papel decisivo na sustentação da produção, na criação do valor, na competitividade, na garantia ao trabalho e, conseqüentemente, no desenvolvimento sustentado. Assumem, deste modo, uma importância decisiva os modelos de gestão que aglutinem desenvolvimentos científicos e tecnológicos bem como as necessárias capacidades pessoais que visem desenvolver as Organizações para a satisfação de todos os seus intervenientes.

Na perspectiva da gestão operacional da manutenção industrial considerada como um dos factores chave para a melhoria da fiabilidade operacional das Organizações (empresas) de fluxo e laboração contínuas, em particular nas de produção de pasta para papel, experimenta-se, aplica-se e desenvolve-se neste trabalho o resultado de modelos parciais distintos mas que se conjugam e integram entre si para reduzir os custos e aumentar a eficiência e a eficácia operacional.

Um dos modelos, o dos riscos proporcionais, é um modelo de fiabilidade semi-paramétrico que determina a contribuição de cada uma das variáveis independentes ao longo dos intervalos do tempo de funcionamento dos equipamentos em risco de avariar. Tratando-se de um processo produtivo contínuo do tipo *flow shop* onde a maximização da disponibilidade dos equipamentos é privilegiada o atendimento das notificações efectuadas à manutenção para a detecção de falhas ou para a reparação das avarias segue uma disciplina do tipo *first-in first-out*. Assim, os outros dois modelos parciais paramétricos, um deles suportado pela teoria das filas de espera e o outro pelas oportunidades de subcontratação, visam dimensionar respectivamente as equipas a afectar directamente os diferentes serviços de manutenção em regime de *insourcing* e em *outsourcing* pontual durante as paragens programadas ou de oportunidade das instalações produtivas para, em conjunto, reduzirem os custos operacionais.

Com o presente trabalho pretende-se trazer ao conhecimento mais dados e resultados sobre a realidade operacional e com estes demonstrar que é preferível para diminuir os custos de manutenção de grandes empresas de processo recorrer a recursos internos e externos de manutenção em vez de recorrer apenas a recursos externos.

São considerados no presente estudo os dados que foram recolhidos entre 2004 e 2005 em regime de *outsourcing* da manutenção das diferentes famílias de equipamentos classificados de rotativos, estáticos, lineares e os de regulação e controlo. Em presença dos resultados obtidos relativos a cada valor das variáveis significativas encontradas implementaram-se entre 2006 e 2007 medidas de forma a minimizar a “intensidade” desses valores e, tomando em consideração as tarefas/acções sistemáticas antes efectuadas pelas funções manutenção e produção sobre os equipamentos, reformularam-se as equipas, as tarefas/acções e as respectivas periodicidades já num novo regime de gestão entre o *insourcing* e o *outsourcing (bestsourcing)* da manutenção, no sentido de reduzir o efeito das variáveis significativas encontradas e transformá-las em maior valor acrescentado para a Organização.

Em consequência das alterações levadas a efeito no processo operacional da linha de produção de pasta de papel (na área do branqueamento) já durante o final do 2º semestre de 2006 e o 1º trimestre de 2007 obtiveram-se novos resultados que conduziram, simultaneamente, à diminuição da probabilidade da ocorrência de avarias nos equipamentos produtivos estudados e dos custos operacionais. Paralelamente foram também detectadas lacunas de competências em diferentes especialidades dos serviços de manutenção, redimensionaram-se os recursos internos (*insourcing*) para o atendimento diário das avarias fortuitas e os serviços externos contratados (*outsourcing*) para o atendimento pontual dos trabalhos de manutenção a aguardar paragens programadas dos equipamentos fabris. Procurou-se e conseguiu-se ainda extrapolar alguns dos resultados obtidos, nomeadamente os respeitantes aos tempos médios das chegadas dos pedidos de reparação e os respectivos tempos médios de reparação, para o dimensionamento esperado das equipas de manutenção das restantes áreas fabris da linha de produção de pasta para papel.

Synopsis

The industrial functions and operational practices of the production and maintenance related to the operation of the productive equipment should ensure the knowledge and the evolution of the risk of failure to maximise the operational reliability and the equipment availability as well as the reduction of the operational costs. In an industrial activity so important for the economy of the country, as the production of pulp and paper, the operational management has a decisive role in the support of the production and in creation of value, competitiveness, guarantee of work and therefore sustainable development. So, the management models that joint scientific and technological development assume a decisive importance, as well as the necessary personal skills that aim to develop the organizations for the satisfaction of all their members.

In view of the operational management of industrial management regarded as one of the key factors for improving the operational reliability of organizations working continuously, in particular pulp and paper production, they are applied in this study models which can be combined and integrated so they will called partial models to decrease costs and improve the operational reliability. The proportional hazard model is a semi-parametric reliability model which determines the contribution of each of the independent variables during the functioning of the equipment at risk of damage. Being a continuous productive process of the flow shop type, where the maximisation of the equipment availability is privileged, the attendance of the notifications made to the maintenance for the detections of failures or the repairing of damage that always occur follows a pattern of the type *first-in first-out*. So, another's partial models (parametric) supported by the queuing theory and costs aims to scale the work teams to be assigned to different maintenance services on an *insourcing* regime in the operational context and, occasionally, on an *outsourcing* regime during the planned or opportunity shut-downs of the production facilities to reduce fixed operating costs.

With the present study we intend to take more data and results in operational reliability and to show it's better for the organizations to decrease maintenance costs in process industries to use internal and external mix resources in compares to the external resources (*outsourcing*) only.

This study show the results of the *outsourcing* maintenance and *insourcing-outsourcing* maintenance *mix* called *bestsourcing*.

They are considered in this study, whose data were collected in 2004 e 2005, different sets of equipment: static, rotative, linear, control and process regulation. In presence of the results on each of the values of the significant variables there implemented measures in order to minimise the “intensity” of those values and also considering the systematic task/actions and their periodicity were later reformulated in order to reduce the effect of the variables value and thereby the tasks into actions of added value for the organization.

As a consequence of the changes carried in the operational process *fiber-line* (in particular in bleaching process) already during the end of the second half of 2006 and first half of 2007, we obtained new results which led at the same time to decrease the probability of the occurrence of failures in the productivity equipment and in the operational costs. In parallel, there were found gaps in skills in the various specialities of the maintenance services and the internal resources (*insourcing*) were resized for the attendance of failures as well as the external services (*outsourcing*) contracted for the simultaneous attendance of the maintenance tasks awaiting the planned shut-downs of the various productive equipments. We also intend to extrapolate some of the results, particularly those related to the average time of arrival of repairing request and their average repair time, for the expected sizing of the maintenance work teams in the other manufacturing *fiber-line* areas.

Palavras chave

Criação de valor

Custos operacionais

Dimensionamento de equipas

Eficiência e riscos operacionais

Fiabilidade e Manutenção

Funções operativas

Inovação e desenvolvimento

Modos de falha

Produtividade operacional

Recursos Humanos e materiais

Serviços (*outsourcing/insourcing e bestsourcing*)

Key words

Value management

Operational costs

Teams dimensioning

Efficiency and operational hazards

Reliability and Maintenance

Operative process functions

Development and innovation

Failure modes

Operational productivity

Human and material resources

Services (*outsourcing/insourcing e bestsourcing*)

Agradecimentos

Sendo difícil mencionar todos quantos, de uma forma ou de outra, contribuíram para a elaboração deste trabalho quero em primeiro lugar agradecer a todos os que se sintam esquecidos ao lerem o texto que figura nesta página.

Começo por manifestar o meu agradecimento aos Professores Doutores Filipe José Didelet Pereira, Amílcar dos Santos Gonçalves e Victor Gomes da Silva pela colaboração e incentivo que fui recebendo durante a pesquisa e a compilação das diferentes fases deste trabalho até à sua conclusão.

Agradeço à companhia portuguesa Portucel Soporcel de produção de pasta e papel a oportunidade dada para o desenvolvimento do trabalho na fábrica de pasta de Setúbal e o apoio desde logo recebido do Engenheiro Pedro Soares responsável operacional da manutenção assim como do Engenheiro Óscar Arantes director da fábrica de pasta.

Agradeço ainda ao Mestre Engenheiro Joaquim Belfo director da manutenção das fábricas de produção de pasta e de papel de Setúbal pela sua grande disponibilidade e o contributo muito decisivo prestado durante a conclusão da parte final deste trabalho.

Finalmente, um grande agradecimento à minha mulher e às minhas filhas que apesar das dificuldades e das privações pessoais provocadas pelo tempo que foi necessário despendar para a elaboração deste trabalho souberam mostrar o seu apoio e conseguiram ultrapassar todos os contratempos.

Índice de matérias

<i>Resumo</i>	I
<i>Synopsis</i>	III
<i>Palavras chave</i>	V
<i>Key words</i>	VI
<i>Agradecimentos</i>	VII
<i>Índice de matérias</i>	VIII
<i>Índice de figuras</i>	XVII
<i>Índice de quadros</i>	XXIV
<i>Índice de tabelas</i>	XXVI
1 – Apresentação e introdução	1
1.1 – Enquadramento, pressupostos e justificação do trabalho	1
1.2– Objectivo do trabalho	7
1.3 – Os principais intervenientes no processo produtivo	9
1.3.1– A produção e a manutenção	10
1.3.2 – A logística e os serviços	16
1.4 – As práticas de manutenção na cadeia de valor	20
1.4.1 – As práticas técnicas	24
1.4.2 – As práticas Humanas	26
1.4.3 – As práticas de gestão	29
1.5 – As filosofias e os modelos que visam a fiabilidade operacional	34
1.5.1 – As principais filosofias e metodologias para a melhoria da fiabilidade	35
1.5.1.1 – RCM – <i>Reliability Centered Maintenance</i>	35
1.5.1.2 – TPM – <i>Total Productive Maintenance</i>	36
1.5.1.3 – RAMS – <i>Reliability, Availability Maintainability and Safety</i>	37
1.5.1.4 – OOE – <i>Overall Equipment Effectiveness</i>	38

1.5.1.5 – ROM – <i>Results Oriented Maintenance</i>	39
1.5.1.6 – CBM – Condition-based Maintenance	40
1.5.1.7 – RBI – Risk-based Maintenance	40
1.5.2 – Os principais modelos no estudo da fiabilidade dos sistemas	43
1.5.2.1 – Os modelos paramétricos	43
1.5.2.2 – Os modelos não paramétricos	47
 1.6 – Os principais modelos de decisão na gestão da manutenção	 48
1.6.1 - Modelos que visam minimizar os custos operacionais	50
1.6.2 – Modelos que visam maximizar a disponibilidade dos equipamentos	57
 1.7 – As ferramentas que visam a flexibilidade operacional e a competitividade .	 63
1.7.1 – O <i>benchmarking</i>	63
1.7.2 – O <i>insourcing</i> e o <i>outsourcing</i>	73
1.7.3 – O <i>bestsourcing</i> – <i>insourcing</i> e <i>outsourcing mix</i>	75
 1.8 – As qualificações e os conhecimentos dos recursos	 81
 1.9 – Os sistemas de informação	 84
 1.10 – Esquema do trabalho	 86
 2 – Os principais conceitos de interesse para o trabalho	 88
 2.1 – A gestão da manutenção e a criação de valor	 88
2.1.1 – A percepção do valor, a sua gestão e a qualidade dos serviços	88
2.1.2 – O valor percebido para o cliente	100
2.1.3 – As funções, os modos de falha e o risco de avarias dos equipamentos	104
2.1.4 – Os parâmetros de fiabilidade e a previsão das ocorrências futuras	110
2.1.5 – A disponibilidade, a segurança, os custos e a qualidade dos produtos	113

2.2 – A gestão dos equipamentos	116
2.2.1 – Os factores que influenciam a fiabilidade dos equipamentos	116
2.2.2 – A criticidade, o risco de avaria e a previsão das consequências	117
2.2.3 – O modelo dos riscos proporcionais na previsão da fiabilidade	121
2.2.4 – Os tipos de decisão na gestão dos equipamentos	124
2.3 – A gestão das equipas de manutenção	126
2.3.1 – Os factores que influenciam a manutenibilidade dos equipamentos	127
2.3.2 – O dimensionamento das equipas de manutenção	129
2.3.3 – O modelo das filas de espera	131
2.4 – A optimização dos custos operacionais	135
2.4.1 – A caracterização no nível de manutenção adequado	136
2.5 – A gestão dos circuitos de informação	137
2.6 – A importância da previsão das ocorrências futuras	140
2.6.1 – A previsão das necessidades. Recursos, materiais e a logística de suporte	140
2.6.2 – O dimensionamento das equipas <i>insourcing</i> e <i>outsourcing</i>	143
2.7 – Resumo histórico bibliográfico	146
3 – Os modelos (parciais) usados no trabalho	154
3.1 – Introdução	154
3.1.1 – Justificação da opção dos modelos de risco proporcional e filas de espera	154
3.2 - O modelo dos riscos proporcionais. PHM - <i>Proportional Hazard Model</i>	156
3.2.1 – Estimativas por verosimilhança e estimação dos coeficientes de regressão	159
3.2.2 – Processo de estimação dos parâmetros β e os <i>softwares</i> para o efeito	160
3.3 - O modelo das filas de espera sem memória. M/M/s - <i>Queuing Model</i>	162
3.3.1 – A distribuição exponencial negativa e a distribuição de Poisson	165

3.3.2 – Propriedades da distribuição exponencial negativa	166
3.4 – A optimização do dimensionamento dos recursos internos e externos	167
3.4.1 – O método de dimensionamento com as oportunidades de subcontratação	167
3.4.2 – A distribuição estatística rectangular ou uniforme	167
3.5 – Método de geração de números aleatórios para distribuições estatísticas ..	168
3.6 – Considerações, justificação e comentários aos modelos apresentados	170
 4 – Apresentação do caso de estudo	 176
4.1 – O contexto operacional e os dados iniciais	176
4.1.1 – Caracterização das falhas funcionais na linha de produção de pasta	181
4.1.2 – Caracterização dos planos de manutenção da linha de pasta	184
4.1.3 – Justificação do estudo do branqueamento e caracterização das avarias	186
4.1.4 – Identificação dos equipamentos do branqueamento a estudar	199
4.1.5 – Caracterização das notificações por avaria nos equipamentos	203
4.1.5.1 – As chegadas das notificações à oficina de instrumentação	204
4.1.5.2 – As chegadas das notificações à oficina eléctrica	205
4.1.5.3 – As chegadas das notificações à oficina mecânica	206
4.1.5.4 – As chegadas das notificações que ficam a aguardar paragem	207
4.1.6 – Caracterização do atendimento das equipas de manutenção	208
 4.2 – Caracterização da organização do processo de manutenção	 213
4.2.1 – O <i>insourcing</i> na década de 90	213
4.2.2 – O <i>outsourcing</i> da manutenção no início do século XXI	217
 4.3 – Caracterização dos indicadores obtidos antes e durante o <i>outsourcing</i>	 226
 4.4 – Análise e comentários ao contexto operacional	 234
 4.5 – Caracterização organizacional do processo de manutenção em 2006	 238

4.6 – Conclusões	240
 5 – Os dados e os resultados da aplicação dos modelos parciais usados	 241
5.1 – Introdução e objectivos	241
 5.2 – Os dados observados para o modelo dos riscos proporcionais (PHM)	 243
5.2.1 – Enquadramento	243
5.2.2 – As famílias dos equipamentos em estudo	244
5.2.2.1 – A famílias dos equipamentos estáticos e lineares	245
5.2.2.2 – A família dos equipamentos rotativos	259
5.2.3 – Resumo dos modos de falha dos componentes dos equipamentos.....	265
5.2.4 – As covariáveis a observar e a usar na aplicação do modelo PHM	268
5.2.5 – A contagem dos tempos de funcionamento ou de sobrevivência.....	272
5.2.6 – Os meios e a forma da obtenção dos dados	275
5.2.7 – Os dados obtidos	277
5.2.7.1 – Os dados para a aplicação do PHM aos equipamentos estáticos	277
5.2.7.2 – Os dados para a aplicação do PHM aos equipamentos rotativos	279
 5.3 – Os dados observados para o modelo das filas de espera (QM)	 283
5.3.1 – Enquadramento	283
5.3.2 – A forma e os pressupostos na obtenção dos dados	284
5.3.3 – Os dados obtidos das chegadas a cada serviço de manutenção	286
5.3.4 – Os dados obtidos dos tempos de atendimento de cada serviço	295
 5.4 – Os dados observados para o modelo de subcontratação	 306
5.4.1 – Introdução	306
5.4.2 – Os dados para as paragens programadas de curta duração	306
5.4.3 – Os dados dos trabalhos para execução mas em <i>backlog</i>	309
5.4.4 – Os dados para as paragens programadas de longa duração	312
 5.5 – Considerações, resultados e implementação de medidas	 314
5.5.1 – Introdução	314

5.5.2 – Considerações e síntese dos dados usados	314
5.5.2.1 – Considerações acerca dos dados nas filas de espera sem memória	314
5.5.2.2 – Considerações acerca dos dados no modelo dos riscos proporcionais.....	317
5.5.2.3 – Considerações acerca dos dados no modelo de subcontratação/custos	317
5.5.2.4 – Considerações acerca da percepção do valor do risco por parte do cliente ..	318
5.5.3 – Resultados obtidos e medidas tomadas	320
5.5.3.1 – Resultados obtidos antes da implementação de medidas	321
5.5.3.2 – Caracterização das medidas tomadas e a sua implementação	341
5.5.4 – Resultados obtidos após a implementação das medidas preconizadas	358
5.5.4.1 – Resultados obtidos entre 2006 e 2007 através dos riscos proporcionais	359
5.5.4.2 – Resultados obtidos entre 2006 e 2007 através das filas de espera	377
5.5.4.3 – Os custos operacionais da manutenção obtidos em 2007	394
 5.6 – Validação, breve análise aos resultados, dificuldades e conclusões	 397
5.6.1 – Validação dos resultados obtidos	397
5.6.2 – Breve análise aos resultados obtidos	401
5.6.3 – Dificuldades encontradas e conclusões	405
 6 – Propostas de (re)organização da manutenção	 407
 6.1 – A interpenetração operacional da produção com a manutenção	 407
 6.2 – O diagnóstico e as circunstâncias operacionais na previsão de ocorrências.	 408
 6.3 – Os circuitos de comunicação, informação e logística operacionais	 408
 6.4 – As qualificações, as competências e a polivalência dos recursos	 409
 6.5 - O dimensionamento mais adequado e flexível das equipas de manutenção.	 409
 6.6 - A adequação das periodicidades dos planos de manutenção	 410

7 – Análise aos resultados e conclusões	411
7.1 – Resenha do trabalho e da metodologia. Análise de resultados	411
7.2 – Conclusões gerais	420
7.3 – Conclusões finais	421
7.4 – Contribuição do estudo para a inovação da gestão operacional	423
7.5 – Eventuais limitações do(s) modelo(s) usado(s)	425
7.6 – Contribuição para trabalhos futuros	425
 Bibliografia	 427
Lista de símbolos	467
Lista de abreviaturas	470
Anexos	474

Anexos

Anexo I – Tempos médios da duração das reparações e dimensão das equipas	475
Anexo II – Totalidade dos dados observados para as covariáveis das tubagens	478
Anexo III – Totalidade dos dados observados para as cov. das celas eléctricas	479
Anexo IV – Totalidade dos dados observados para as covariáveis dos sensores	480
Anexo V – Totalidade dos dados observados para as cov. das bombas hidráulicas ...	481
Anexo VI – Totalidade dos dados observados para as cov. dos motores eléctricos ...	483
Anexo VII – Totalidade dos dados observados para as cov. do transportador	484
Anexo VIII – Totalidade dos dados observados para as covariáveis dos cilindros óleo-hidráulicos	484
Anexo IX – Totalidade dos dados observados para as covariáveis das válvulas automáticas	486
Anexo X – Análise de sobrevivência das tubagens	488
Anexo XI – Análise de sobrevivência das celas eléctricas	494
Anexo XII – Análise de sobrevivência dos sensores em linha	498
Anexo XIII – Análise de sobrevivência dos cilindros óleo-hidráulicos	500
Anexo XIV – Análise de sobrevivência das válvulas automáticas	505
Anexo XV – Análise de sobrevivência das bombas hidráulicas	508
Anexo XVI – Análise de sobrevivência dos motores eléctricos	512
Anexo XVII – Análise de sobrevivência de um transportador	518
Anexo XVIII – Avarias verificadas nas tubagens após implementação de medidas .	521
Anexo XIX – Avarias verificadas nos cilindros óleo-hidráulicos após a implementação de medidas	524
Anexo XX – Avarias verificadas nas bombas hidráulicas após a implementação de medidas	526
Anexo XXI – Avarias verificadas nos motores eléctricos após a implementação de medidas	527
Anexo XXII – Avarias verificadas nas celas eléctricas após a implementação de medidas	528
Anexo XXIII – Avarias verificadas nas válvulas automáticas após a implementação de medidas	529
Anexo XXIV – Avarias verificadas nos sensores em linha após a implementação de medidas	530

Anexo XXV – Avarias verificadas no transportador C800 após a implementação de medidas	531
--	-----

Índice de figuras

Figura 1.1 – Transição da inovação produto/processo	2
Figura 1.2 – Evolução da produção mundial de pasta (ECF) para papel	3
Figura 1.3 – Evolução do consumo mundial de papel	3
Figura 1.4 – Importância relativa das variáveis chave	4
Figura 1.5 – O consumo de papel, a informação e o desenvolvimento	4
Figura 1.6 – Modelo <i>input – output</i> na actividade empresarial	9
Figura 1.7 – Cadeia de valor genérica	20
Figura 1.8 – Círculo dinâmico das boas práticas	23
Figura 1.9 – Tipos de manutenção	25
Figura 1.10 – Diferentes níveis de gestão	30
Figura 1.11 – Quantificação dos riscos associados às falhas dos equipamentos	41
Figura 1.12 – A versatilidade da distribuição de Weibull em função de β	44
Figura 1.13 – Papel para o registo das falhas acumuladas	45
Figura 1.14 – Níveis de manutenção A e B e o custo da avaria	51
Figura 1.15 – Simplificação da análise LCC	51
Figura 1.16 – Processo de renovação de um equipamento (sistema)	58
Figura 1.17 – Variações para disponibilidades entre 0,5 e 0,8	59
Figura 1.18 – Disponibilidade instantânea e de estado constante	60
Figura 1.19 – Orçamento (USD) de manutenção	66
Figura 1.20 – Percentagem orçamental dos salários	66
Figura 1.21 – Percentagem orçamental de PM e PdM	67
Figura 1.22 – Percentagem de ordens de trabalho programadas e executadas	68
Figura 1.23 – Actividade de manutenção efectuada por operadores (produção)	69
Figura 1.24 – Principais causas dos trabalhos de reparação	69
Figura 1.25 – Frequências das recolhas de amostras de óleo	70
Figura 1.26 – Famílias de equipamentos submetidos a infravermelhos	72
Figura 1.27 – Comparação da <i>performance</i> da actividade da manutenção	72
Figura 1.28 – Estrutura típica dos serviços de manutenção nos anos 80	74
Figura 1.29 – Matriz de enquadramento da utilização do <i>outsourcing</i> estratégico	78
Figura 2.1 – Perspectiva dada pela gestão do valor	91
Figura 2.1 – Fases de um projecto de gestão pelo valor	94
Figura 2.3 – Os inputs da análise de valor de um serviço de manutenção	95

Figura 2.4 – Modelo de gestão operacional pelo valor suportado por <i>outsourcing</i>	96
Figura 2.5 – O espectro produto Vs serviço	97
Figura 2.6 – Os gap's de qualidade no processo da prestação de serviços	98
Figura 2.7 – Evolução do processo de falha constante	107
Figura 2.8 – Evolução do processo de falha crescente e constante	107
Figura 2.9 – Evolução do processo de falha constante e crescente	107
Figura 2.10 – Evolução do processo de falha crescente	107
Figura 2.11 – Evolução do processo de falha decrescente e constante	107
Figura 2.12 – Curva da banheira	107
Figura 2.13 – Período P – F	108
Figura 2.14 – Funções de risco	109
Figura 2.15 – Representação da função de risco e da taxa de avarias	110
Figura 2.16 – Custos totais e custo de manutenção	114
Figura 2.17 – Disponibilidade e lucro máximo	114
Figura 2.18 – Redução do custo nas paragens planeadas	115
Figura 2.19 – Forma de convergência do método Newton-Raphson	122
Figura 2.20 – Esquema geral da relação entre <i>inputs</i> e <i>outputs</i>	129
Figura 3.1 – Processo de vida e morte	162
Figura 3.2 – Sistema de fila de espera única (por serviço de manutenção)	163
Figura 4.1 – Planta geral do complexo industrial da Portucel em Setúbal	176
Figura 4.2 – Diagrama simplificado da linha de produção de pasta	177
Figura 4.3 – Sequência do processo do branqueamento da pasta para papel	177
Figura 4.4 – Limites do sistema do branqueio da pasta	178
Figura 4.5 – Vista da área do branqueamento da pasta	178
Figura 4.6 – Circuitos de pasta, filtrado e dos reagentes químicos	180
Figura 4.7 – Quantidade de falhas funcionais anteriores ao <i>insourcing</i>	182
Figura 4.8 – Falhas funcionais no 1.º semestre de 2003	183
Figura 4.9 – Falhas funcionais no 1.º semestre de 2004	183
Figura 4.10 – Horas de manutenção vs falhas funcionais	186
Figura 4.11 – Número de falhas de vedação nos cilindros hidráulicos	187
Figura 4.12 – Número de falhas de vedação no circuito de dióxido de cloro	188
Figura 4.13 – Número de falhas de vedação no circuito de ácido sulfúrico	188
Figura 4.14 – Número de falhas de vedação no circuito de adição de talco	189
Figura 4.15 – Sequência de lavagem e extracção de filtrados das torres	189

Figura 4.16 – Número de falhas de vedação nos circuitos de filtrado da torre D0	190
Figura 4.17 – Número de falhas de vedação nos circuitos de filtrado da torre D1.1 .	190
Figura 4.18 - Número de falhas de vedação nos circuitos de filtrado da torre E1.2 ..	191
Figura 4.19 – Número de falhas de vedação nos circuitos de filtrado da torre D1.1 .	191
Figura 4.20 – Número de falhas de vedação nos circuitos de filtrado da torre D1.2 .	192
Figura 4.21 – Número de fugas de filtrado que originaram manutenção correctiva ..	192
Figura 4.22 – Fugas nos circuitos de filtrado da torre D2	193
Figura 4.23 – Distribuição do número de fugas de pasta no branqueamento	193
Figura 4.24 – Anéis de controlo da lavagem e extracção com maior n.º de fugas	194
Figura 4.25 - Anéis de controlo da pasta e outros com maior número de fugas	194
Figura 4.26 – Número de falhas em aparelhos de PH e condutividade	195
Figura 4.27 – Número de notificações (s011 e s012) para equipamentos rotativos ...	197
Figura 4.28 – Evolução dos valores globais de vibração na linha de pasta	198
Figura 4.29 – Chegadas das notificações efectuadas pela Produção	204
Figura 4.30 – Chegadas das notificações efectuadas pela Manutenção	204
Figura 4.31 – Chegadas das notificações efectuadas pela Produção	205
Figura 4.32 – Chegadas das notificações efectuadas pela Manutenção	205
Figura 4.33 – Chegadas das notificações efectuadas pela Produção	206
Figura 4.34 – Chegadas das notificações efectuadas pela Manutenção	206
Figura 4.35 – Ordens de trabalho que aguardaram a paragem do Branqueamento	207
Figura 4.36 – Durações (horas) reais dos atendimentos da oficina sml1amec	211
Figura 4.37 – Durações (horas) reais dos atendimentos da oficina sml1bmec	211
Figura 4.38 – Durações (horas) reais dos atendimentos da oficina sml1ele	212
Figura 4.39 – Durações (horas) reais dos atendimentos da oficina sml1inst	212
Figura 4.40 – Organização da direcção de manutenção em 1992	213
Figura 4.41 – Idades dos efectivos do serviço de mecânica e c. civil	214
Figura 4.42 – Idade dos efectivos do serviço de electricidade	214
Figura 4.43 – Idade dos efectivos do serviço de instrumentos e electrónica	214
Figura 4.44 – Anos de escolaridade do efectivo do serviço mecânico e c. civil	215
Figura 4.45 – Anos de escolaridade do efectivo do serviço de electricidade	215
Figura 4.46 – Anos de escolaridade do efectivo do serviço de instrumentação	215
Figura 4.47 – Repartição dos custos de manutenção	217
Figura 4.48 – Estrutura da manutenção em 2002	220
Figura 4.49 – Número de executantes por acções ou tarefas do tipo s022 (PM)	220

Figura 4.50 – Número de executantes necessários p/ acções do tipo s011 e s012	221
Figura 4.51 – Organigrama de 2004 da área operacional da linha de pasta	222
Figura 4.52 – Custos fixos (directos) de manutenção em 2003	224
Figura 4.53 – Custos fixos de manutenção p/ tonelada de pasta produzida	224
Figura 4.54 – Custos de manutenção de 2004 na linha de pasta s/ paragem anual	225
Figura 4.55 – Indicadores operacionais do DC1 e DC2	228
Figura 4.56 – Indicadores operacionais do branqueamento e produtos químicos	228
Figura 4.57 – Indicadores operacionais da tiragem de pasta	229
Figura 4.58 – Evolução das curvas de duração entre 2002 e 2004	230
Figura 4.59 – Evolução da eficiência de capacidade do branqueamento	231
Figura 4.60 – Número de horas e de paragens do branqueamento	231
Figura 4.61 – Toneladas de pasta produzidas	234
Figura 4.62 – Níveis de manutenção segundo a AFNOR	237
Figura 4.63 – Organigrama da direcção central de engenharia	239
Figura 5.1 – Fuga de fluído por falha de vedação	247
Figura 5.2 – Representação esquemática de uma falha de vedação	248
Figura 5.3 – Junta de cartão substituída após falha	248
Figura 5.4 – Custos das falhas da função vedação	249
Figura 5.5 – Equipamento (caudalímetro) de instrumentação em linha	251
Figura 5.6 – Esquema de princípio de um instrumento de linha	253
Figura 5.7 – Armário eléctrico	253
Figura 5.8 – Cella (arrancador) de alimentação eléctrica	253
Figura 5.9 – Esquematização de uma cela eléctrica	254
Figura 5.10 – Representação esquemática de um conjunto de regulação	255
Figura 5.11 – Válvula automática de borboleta (disco)	256
Figura 5.12 – Posicionadores de válvulas	256
Figura 5.13 – Cilindro hidráulico do sistema de elevação dos crivos	258
Figura 5.14 – Representação dos componentes de um cilindro óleo-hidráulico	258
Figura 5.15 – Início de falha dos vedantes do cilindro óleo-hidráulico	259
Figura 5.16 – Bomba de pasta MC do branqueamento	261
Figura 5.17 – Representação dos componentes de uma bomba MC	263
Figura 5.18 – Redutor de transmissão entre o a motor e a bomba MC	262
Figura 5.19 – Evolução da condição de funcionamento de um rolamento	264
Figura 5.20 – Evolução de dois tipos de processos de degradação	265

Figura 5.21 – Situação 1	273
Figura 5.22 – Situação 2	273
Figura 5.23 – Representação da contagem dos tempos (dias) entre avarias	275
Figura 5.24 – Chegadas dos pedidos de reparação ao CMMS (SAP/R3)	284
Figura 5.25 – Sistema com fila única por serviço	285
Figura 5.26 – Modelo de fila de espera para cada serviço de manutenção	285
Figura 5.27 – Verificação da linearidade <i>inter-arrival time and events</i>	287
Figura 5.28 – Verificação da linearidade <i>time events and events number</i>	287
Figura 5.29 – Probabilidade do número diário de notificações de reparação	288
Figura 5.30 – Probabilidades do número semanal de notificações de reparação	289
Figura 5.31 – Probabilidade do número (n-1) diário de notificações de reparação	290
Figura 5.32 – Probabilidade do número semanal de notificações de reparação	290
Figura 5.33 – Intervalos de tempo entre as chegadas ao serviço mecânico	291
Figura 5.34 – Taxa de chegadas no 1.º semestre de 2005	291
Figura 5.35 – Frequências observadas em cada classe	292
Figura 5.36 – Comparação da frequência das chegadas dos pedidos de reparação	292
Figura 5.37 – Comparação da frequência das chegadas dos pedidos de reparação	293
Figura 5.38 – Distribuição semanal das chegadas (trabalhos) sistemáticas	294
Figura 5.39 – Durações reais vs durações esperadas	297
Figura 5.40 – Probabilidades entre as durações verificadas e as exponenciais	298
Figura 5.41 – Linearidade entre o n.º de reparações e os tempos de reparação	298
Figura 5.42 – Probabilidades entre as durações verificadas e as exponenciais	299
Figura 5.43 – Tempos de atendimento dos pedidos de reparação	300
Figura 5.44 – Trabalhos com pequena duração sem registo de picagens	300
Figura 5.45 – Linearidade dos tempos de reparação	301
Figura 5.46 – Tempos (duração em horas) activos e quantidade de trabalhos	304
Figura 5.47 – Sistema de fila única multi-canal com a aglutinação de servidores	305
Figura 5.48 – Máximo de notificações e ordens de trabalho na linha de pasta	310
Figura 5.49 – <i>Backlog's</i> da oficina sml1amec (mecânica)	310
Figura 5.50 – <i>Backlog's</i> da oficina sml1bmec (mecânica)	311
Figura 5.51 – <i>Backlog's</i> da oficina de electricidade e instrumentação	311
Figura 5.52 – Comparação entre o n.º de horas e o n.º de executantes nas paragens .	313
Figura 5.53 – Comparação entre os Hh's e os custos nas paragens	313
Figura 5.54 – Sistema multi-canal com aglutinação de servidores	316

Figura 5.55 – Função de sobrevivência das tubagens da condução de fluídos	322
Figura 5.56 – Função da probabilidade do risco de avaria das tubagens	324
Figura 5.57 – Curva de sobrevivência das tubagens da lavagem da pasta	325
Figura 5.58 – Agrupamento dos equipamentos em função do risco de avaria	329
Figura 5.59 – Resultados do atendimento das reparações eléctricas	330
Figura 5.60 – Imputação das taxas de chegada e de serviço	330
Figura 5.61 – Resultados da simulação	331
Figura 5.62 – Resultados da simulação	331
Figura 5.63 – Resultado do atendimento das reparações mecânicas	332
Figura 5.64 – Resultado do desempenho do sistema para o serviço mecânico	333
Figura 5.65 – <i>Interface</i> para a introdução dos dados das chegadas	334
Figura 5.66 – <i>Interface</i> da introdução de dados	334
Figura 5.67 – Resultados das chegadas dos pedidos de reparação	335
Figura 5.68 – Resultados da fila de espera dos pedidos de reparação	335
Figura 5.69 – Resultados do serviço de atendimento	336
Figura 5.70 – Resultados do comportamento do sistema	336
Figura 5.71 – Notas de reparação do branqueamento entre Out. 04 e Maio 05	338
Figura 5.72 – Variação dos custos em função do número de executantes	340
Figura 5.73 – Esquema das ligações implementadas nos cilindros óleo-hidráulicos ..	348
Figura 5.74 – Variação do nível de vibração com a % da abertura de uma válvula	349
Figura 5.75 – Variação da energia absorvida pela tubagem da lavagem da torre D0 .	349
Figura 5.76 – Comparação do dimensionamento dos executantes na linha de pasta ..	351
Figura 5.77 – Previsão do dimensionamento dos TCP's	352
Figura 5.78 – Necessidade de executantes sem e com a paragem das instalações	354
Figura 5.79 – Gráfico do diferencial de pressão dos cilindros óleo-hidráulicos	365
Figura 5.80 – Modos de tensão dos braços do crivo e os resultado dos gráficos	365
Figura 5.81 – Função de sobrevivência durante a implementação das medidas	368
Figura 5.82 – Aspecto do sensor de vibração montado numa bomba de pasta	371
Figura 5.83 – N.º de dias em 2007 com risco de avaria igual a 0,5	374
Figura 5.84 – Evolução dos tempos de paragem do branqueamento em 2006	376
Figura 5.85 – Evolução dos tempos de paragens do branqueamento em 2007	377
Figura 5.86 – Número de notificações para o branqueamento de Out. 04 a Maio 05 .	377
Figura 5.87 – Número de notificações para o branqueamento de Out. 06 a Maio 07 .	377
Figura 5.88 – Notificações efectuadas na linha de pasta de Out. 04 a Maio 05	378

Figura 5.89 – Notificações efectuadas na linha de pasta de Out. 06 Maio 07	378
Figura 5.90 – Distribuição horária dos pedidos de reparação de Outubro de 2007	379
Figura 5.91 – Horas trabalhadas (sml1* e s01*) entre Jan. e Abril de 2006	381
Figura 5.92 – Horas trabalhadas (sml1* e s01*) entre Jan. e Abril de 2007	381
Figura 5.93 – Horas trabalhadas (sml1ele* e s01*) entre Jan. e Abril de 2005	382
Figura 5.94 – Horas trabalhadas (sml1inst* e s01*) entre Jan. e Abril de 2007	382
Figura 5.95 – Horas trabalhadas (sml1elin* e s01*) entre Jan. e Abril de 2007	383
Figura 5.96 – Amostra dos tempos de reparação do sml1elin (eléct/inst)	383
Figura 5.97 – Relação exponencial das durações dos trabalhos	384
Figura 5.98 – Convergência da taxa de reparação do sml1elin	384
Figura 5.99 – Relação entre as reparações e os respectivos tempos	385
Figura 5.100 – Convergência da taxa de reparação do sml1amec	385
Figura 5.101 – Atendimento do serviço mecânico no 1.º semestre de 2007	386
Figura 5.102 – Frequências observadas em cada classe de tempos	386
Figura 5.103 – Evolução do <i>backlog</i> do serviço “sml1amec” em 2006	387
Figura 5.104 – Evolução do <i>backlog</i> do serviço “sml1amec” em 2007	387
Figura 5.105 – Evolução do <i>backlog</i> do serviço “sml1bmec” em 2006	388
Figura 5.106 – Evolução do <i>backlog</i> do serviço “sml1bmec” em 2007	388
Figura 5.107 – Evolução do <i>backlog</i> do serviço “sml1elin” em 2006	389
Figura 5.108 – Evolução do <i>backlog</i> do serviço “sml1elin” em 2007	389
Figura 5.109 – “Status” das obras (s01*) do branqueamento em Nov. de 2007	391
Figura 5.110 – Reparações a aguardar paragem da tiragem de pasta em 30.11.07	392
Figura 5.111 – Quantidade de trabalhos a aguardar paragem da linha de pasta	392
Figura 5.112 – Materiais de <i>stock</i> aplicados em 2005 nas obras s01* - aml1*	394
Figura 5.113 – Materiais de <i>stock</i> aplicados em 2007 nas obras s01* - aml1*	394
Figura 5.114 – Distribuição dos custos das reparações oficiais em 2005	395
Figura 5.115 – Distribuição dos custos das reparações oficiais em 2007	395
Figura 5.116 – Curva de duração (exploração) dos equipamentos	396
Figura 5.117 – Evolução do tempo entre avarias verificadas entre 2005 e 2007	402
Figura 5.118 – Número de avarias acumuladas e competências para as reparar	403

Índice de Quadros

Quadro 1.1 – Top 30 da produção de pasta para papel	5
Quadro 1.2 – Classificação dos materiais compra/abastecimento	18
Quadro 1.3 – Alguns indicadores de eficiência	39
Quadro 1.4 – Principais componentes dos custos de manutenção	50
Quadro 1.5 – Aplicabilidade das técnicas de inspecção aos equipamentos	55
Quadro 1.6 – Fiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade	58
Quadro 1.7 – Programas de manutenção mecânica	70
Quadro 1.8 – Programa de manutenção eléctrica	71
Quadro 1.9 – Frequências de testes e diagnóstico eléctrico	71
Quadro 1.10 – OME <i>benchmark</i>	73
Quadro 1.11 – Modelo de apoio à decisão	79
Quadro 1.12 – Processo de decisão na adjudicação de serviços	80
Quadro 2.1 – Factores da percepção do valor	101
Quadro 2.2 – <i>Value drivers</i> e os processos críticos nas operações de manutenção	102
Quadro 2.3 – Avaliação do desempenho das operações de manutenção	103
Quadro 2.4 – Caracterização das funções, famílias e tipos de equipamentos	105
Quadro 2.5 – Principais modos de falha	106
Quadro 2.6 – Classificação atribuída à severidade	118
Quadro 2.7 – Classificação atribuída à ocorrência	118
Quadro 2.8 – Classificação atribuída à detectabilidade	119
Quadro 2.9 – Factores de criticidade e a sua ponderação	120
Quadro 2.10 – Avaliação da política de manutenção a adoptar	121
Quadro 2.11 – Áreas do conhecimento em manutenção industrial	126
Quadro 2.12 – Índices de referência para a actividade da manutenção	130
Quadro 4.1 – Equipamentos mecânicos considerados	199
Quadro 4.2 – Equipamentos eléctricos considerados	200
Quadro 4.3 – Equipamentos de instrumentação considerados	200
Quadro 4.4 – Equipamentos de instrumentação (contra-lavagem) considerados	201
Quadro 4.5 – Equipamentos de instrumentação (extracção) considerados	201
Quadro 4.6 – Equipamentos de instrumentação de medida e controlo	202
Quadro 4.7 – Profissionais de engenharia dedicados ao <i>outsourcing</i>	223
Quadro 5.1 – A classificação das famílias dos equipamentos em estudo	245

Quadro 5.2 – Factores que influenciam as falhas das juntas de vedação	250
Quadro 5.3 – Principais tipos de falhas das válvulas automáticas	256
Quadro 5.4 – Principais modos de falha	267
Quadro 5.5 – Principais covariáveis a considerar	269
Quadro 5.6 – Datas das avarias dos equipamentos	274
Quadro 5.7 – Meios e forma para a obtenção dos dados das covariáveis	276
Quadro 5.8 – Percepção do valor nas operações de manutenção	318
Quadro 5.9 – Valorização do cliente dos <i>value drivers</i> dos serviços de manutenção .	319
Quadro 5.10 – Processos relacionados com as piores avaliações do desempenho	320
Quadro 5.11 – Famílias e o número de equipamentos em estudo	321
Quadro 5.12 – Relações mais significativas de β e Z	328
Quadro 5.13 – Principais acções implementadas	342
Quadro 5.14 – Desdobramento das acções tomadas sobre os factores significativos .	343
Quadro 5.15 – Desdobramento das acções tomadas sobre os factores significativos .	344
Quadro 5.16 – Desdobramento das acções tomadas sobre os factores significativos .	345
Quadro 5.17 – Desdobramento das acções tomadas sobre os factores significativos .	345
Quadro 5.18 – Desdobramento das acções tomadas sobre os factores significativos .	346
Quadro 5.19 - Número de avarias das famílias de equipamentos de 2004 a 2005	360
Quadro 5.20 – Número de avarias das famílias de equipamentos de 2006 a 2007	361
Quadro 5.21 – Número de avarias em 2006/2007 e a redução relativa a 2004/2005 ..	362
Quadro 5.22 – Avarias registadas no SAP/R3 entre 01.11.06 e 31.10.07	373
Quadro 5.23 – Paragens do branqueamento por avaria entre Jan. e Out. de 2006	375

Índice de Tabelas

Tabela 2.1 – Força do trabalho activo na Suécia	98
Tabela 3.1 – Expressões matemáticas para as medidas de desempenho	165
Tabela 4.1 – Famílias e número de equipamentos em estudo	179
Tabela 4.2 – Quantidade de equipamentos da linha de pasta e do branqueamento	180
Tabela 4.3 – Planos de manutenção (rotinas) existentes na linha de pasta	185
Tabela 4.4 – Horas de manutenção na linha de pasta e energia/recuperação	185
Tabela 4.5 – Principais falhas funcionais de alimentação, comando e protecção	196
Tabela 4.6 – Evolução do número de falhas funcionais do equipamento rotativo	196
Tabela 4.7 – Causas prováveis relacionadas com os níveis de vibração	198
Tabela 4.8 – Número total de notas do branqueamento por especialidades	207
Tabela 4.9 – Proporção do número de trabalhos a aguardar paragem	208
Tabela 4.10 – Equipamentos, equipas (dimensão) e tempo (horas) de duração	209
Tabela 4.11 – Efectivo executante da linha de pasta em 1992 por especialidades	216
Tabela 4.12 – Qualificações dos responsáveis operacionais – Linha de pasta	222
Tabela 4.13 – Qualificações dos executantes da manutenção – Linha de pasta	223
Tabela 4.14 – Orçamento de 2003 do <i>outsourcing</i> da linha de pasta	225
Tabela 4.15 – Valores para a rescisão do contrato	227
Tabela 4.16 – Ineficiência tempo (%) da manutenção (M) e produção (P)	227
Tabela 4.17 – Eficiência ritmo (I) e objectivo de produção (Obj)	228
Tabela 4.18 – Notas e ordens de trabalho efectuadas para o branqueamento	232
Tabela 4.19 – Atribuição dos tempos de paragem por causas internas em 2004	232
Tabela 4.20 – Atribuição dos tempos de paragem por causas internas em 2003	233
Tabela 4.21 – Paragens do branqueamento por causas externas	233
Tabela 5.1 – Custos (U. M.) das juntas e das suas substituições.....	249
Tabela 5.2 – Famílias dos equipamentos em estudo	268
Tabela 5.3 – Factores escolhidos para as covariáveis	270
Tabela 5.4 – Datas, tempo entre avarias e os valores das covariáveis das tubagens ...	277
Tabela 5.5 – Datas, tempo entre avarias e os valores das covariáveis das celas	278
Tabela 5.6 – Datas, tempo entre avarias e os valores das covariáveis dos sensores ...	278
Tabela 5.7 – Datas, tempo entre avarias e os valores das covariáveis das bombas	279
Tabela 5.8 – Datas, tempo entre avarias e os valores das covariáveis dos motores ...	280
Tabela 5.9 – Datas, tempo entre avarias e valores das covariáveis do transportador ..	281

Tabela 5.10 – Datas, tempo entre avarias e valores das covariáveis dos cilindros	281
Tabela 5.11 – Datas, tempo entre avarias e valores das covariáveis das válvulas	282
Tabela 5.12 – Amostra da listagem de notificações efectuadas ao serviço mecânico ..	286
Tabela 5.13 – Probabilidades das chegadas ao serviço mecânico	288
Tabela 5.14 – Amostra da listagem de notificações efectuadas ao serviço eléctrico ..	289
Tabela 5.15 – Probabilidades das chegadas ao serviço de electricidade	290
Tabela 5.16 – MTBF e a taxa de avarias e falhas (chegadas) do branqueamento	293
Tabela 5.17 – Quantidade de notificações e os MTBF's	294
Tabela 5.18 – Trabalhos sistemáticos emitidos pelo CMMS	294
Tabela 5.19 – Amostra das operações e as suas durações no serviço mecânico	295
Tabela 5.20 – Número de avarias vs n.º de horas de reparação	296
Tabela 5.21 – Variações reais dos tempos (durações) de atendimento	297
Tabela 5.22 – Tempos médios de reparação e respectivas proporções p/ serviço	299
Tabela 5.23 – Tempos médios ponderados das reparações (MTTR) p/ serviço	301
Tabela 5.24 – Principais famílias de equipamentos e tempos de reparação (TTR's) ..	302
Tabela 5.25 – Classificação dos tempos de execução	303
Tabela 5.26 – Resultados obtidos para os tempos (ponderados) das reparações	304
Tabela 5.27 – Proporção do número de trabalhos de reparação c/ um executante	305
Tabela 5.28 – Número médio anual de trabalhos a aguardar paragem	307
Tabela 5.29 – Quantidade mínima e máxima de trabalhos a aguardar uma paragem ..	308
Tabela 5.30 – Dados a usar nas paragens programadas do branqueamento	308
Tabela 5.31 – Dados a usar nas paragens programadas da linha de pasta (<i>fiber line</i>) ..	309
Tabela 5.32 – Quantidade média anual das notificações na linha de pasta	309
Tabela 5.33 – Taxa de chegadas dos pedidos de reparação	315
Tabela 5.34 – Resultados obtidos para os tempos (ponderados) das reparações	315
Tabela 5.35 – Proporção do número de trabalhos de reparação com um executante ..	316
Tabela 5.36 – Quantidade mínima e máxima de trabalhos que aguardam paragem ...	318
Tabela 5.37 – Avaliação do desempenho de cada factor	319
Tabela 5.38 – Valor dos coeficientes significativos	322
Tabela 5.39 – Valor dos coeficientes significativos	322
Tabela 5.40 – Resultado dos testes estatísticos dos coeficientes	325
Tabela 5.41 – Covariáveis significativas dos equipamentos estáticos	326
Tabela 5.42 – Covariáveis significativas dos equipamentos c/ deslocamento linear ..	326
Tabela 5.43 – Covariáveis significativas dos equipamentos rotativos	327

Tabela 5.44 – Número de executantes dedicados a cada serviço de manutenção	337
Tabela 5.45 – Dimensionamento das equipas das reparações fortuitas – <i>fiber line</i>	337
Tabela 5.46 – Resumo dos dados a usar no modelo de subcontratação	339
Tabela 5.47 – Número de executantes de cada serviço de manutenção	350
Tabela 5.48 – Quantidade média dos trabalhos até ao nível 5 a aguardar paragem	353
Tabela 5.49 – Comparação dos preços dos trabalhos por tipo	357
Tabela 5.50 – Evolução do número de paragens do branqueamento	359
Tabela 5.51 – Número de paragens da área a montante do branqueamento	360
Tabela 5.52 – Número de paragens do equipamento a jusante do branqueamento	360
Tabela 5.53 – Número de falhas funcionais (avarias) dos equipamentos	362
Tabela 5.54 – Proporção dos equipamentos do branqueamento vs linha de pasta	363
Tabela 5.55 – Dados e valores das covariáveis das avarias das tubagens	367
Tabela 5.56 – Dados obtidos das avarias dos cilindros óleo-hidráulicos	369
Tabela 5.57 – Dados obtidos das avarias dos motores eléctricos	372
Tabela 5.58 – Dados obtidos das avarias das válvulas automáticas	373
Tabela 5.59 – Notificações efectuadas no branqueamento de Jan. a Nov. de 2007	379
Tabela 5.60 – Notificações na linha de pasta de Jan. a Nov. de 2007	380
Tabela 5.61 – Evolução da taxa e do tempo médio entre avarias	380
Tabela 5.62 – Tempos médios ponderados das reparações (MTTR) por serviços	386
Tabela 5.63 – Quantidade real de pessoal e dimensionamento obtido	390
Tabela 5.64 – N.º de trabalhos que aguardaram pela paragem da linha de pasta	393
Tabela 5.65 – Número de avarias observadas entre 2004/2005	398
Tabela 5.66 – Número de avarias observadas entre 2006/2007	398
Tabela 5.67 – Número de avarias esperadas vs observadas em 2006/2007	398
Tabela 5.68 – Evolução do número de paragens do branqueamento	399
Tabela 5.69 – Número de trabalhos na paragem da linha de pasta de Out. 2007	400
Tabela 7.1 – Intensidades médias mais significativas	415
Tabela 7.2 – Dimensão das equipas de manutenção	416
Tabela 7.3 – Tempos de reparação e % logística e de diagnóstico	417
Tabela 7.4 – Percentagens dos tempos de diagnóstico e de reparação	417

1 – Apresentação e introdução

1.1 – Enquadramento, pressupostos e justificação do trabalho

A função da Manutenção industrial e a sua interpenetração particular com a função da Produção e, necessariamente, a sua gestão, tendo em conta a evolução tecnológica e a cadência a que se continua a verificar, assumem, especialmente no contexto da produção de fluxo, um papel decisivo na produtividade pelas vias organizacional, tecnológica e da eficiência operacional, contribuindo para que o(s) produto(s) sejam mais competitivos nos mercados consumidores globalizados através da relação preço/qualidade. De acordo com dados estatísticos da revista Pasta e Papel (2005), Portugal é um dos principais produtores europeus de pastas químicas branqueadas, com uma produção total próxima das 1950×10^3 toneladas, exportando a quase totalidade dessa produção para mais de 65 países e cujas empresas produtoras, conjuntamente com as da transformação da pasta em papel, empregavam directamente em 2004 cerca de 3900 pessoas. Segundo Honório (2005), Presidente da Comissão Executiva do grupo Portucel Soporcel, a actividade da produção de pasta e papel inclui-se no universo dos produtos florestais e integra-se harmoniosamente com a sociedade e o ambiente. Em termos globais só o grupo atrás referido se posiciona em lugar de destaque na fileira florestal nacional que globalmente representa perto de 4% do PIB nacional, 14% do PIB industrial e cerca de 10% das exportações nacionais.

A indústria portuguesa da pasta e do papel de impressão e escrita integra a fileira florestal do eucalipto e, segundo Carvalho (1999), cerca de 80% da madeira utilizada teve origem no mercado interno. O ciclo de vida da pasta de papel posiciona-se numa fase de maturidade do produto pelo que deve beneficiar, para além dos acréscimos diferenciadores permanentes, de melhorias ao nível dos processos e consequentemente da redução dos custos de produção de forma a obter vantagens competitivas no mercado global onde se insere. Face ao atrás exposto pode-se depreender a relevância que esta actividade industrial de produção de fluxo assume no panorama económico não só português mas também internacional e, por consequência, a necessidade de melhorar e de otimizar a eficiência e a eficácia dos equipamentos bem como dos processos produtivos através das mais adequadas decisões de gestão e das práticas operacionais.

Assim, os modelos operacionais devem pois considerar o estágio do ciclo de vida da indústria e do produto, o contexto operacional e a sua inter-ligação com os ciclos de inovação do produto e do processo tendo em conta: os custos, o tempo da fabricação, a rapidez de colocação no mercado, a flexibilidade operacional e, ainda, a aceitação por parte do mercado. Neste contexto Pisano (1997) relaciona e caracteriza genericamente de acordo com a figura 1.1 a evolução da taxa de inovação do processo ao longo do tempo quando a inovação no produto não é exigida ou não é viável.

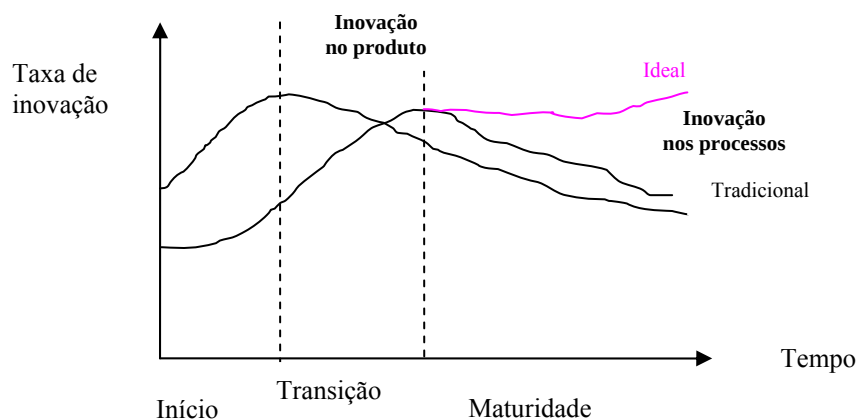


Figura1.1 - Transição da inovação produto/processo

Nas indústrias que atingem a maturidade e quando se pretende obter vantagens competitivas, como é necessáriamete o caso da indústria da pasta para papel, a pressão inovadora passa fundamentalmente pela continuação do crescimento temporal da taxa de inovação dos processos. De facto, esta actividade posiciona-se na zona de maturidade e em particular na fábrica de pasta da Portucel Soporcel em Setúbal, caso do estudo e da aplicação experimental do presente trabalho, onde o último grande investimento tecnológico e de racionalização até à presente data se concretizou no final da década de 80 tendo-se cifrado em cerca de 42 milhões de contos em moeda daquele tempo.

Não obstante as actualizações e a inovação tecnológica serem fundamentais na competitividade a abordagem desta temática ao nível de outras dimensões nomeadamente as organizacionais, as socioculturais e as da gestão são igualmente decisivas. Por isso neste contexto Kanter (1988) refere que a inovação é um processo que permite pôr em prática qualquer forma de resolução de problemas e não se restringe apenas à área tecnológica.

A inovação, segundo Fonseca (1996), pode ser equacionada como uma forma diferente de fazer as coisas também ao nível organizacional e sociocultural. Segundo Freeman e Perez (1988) a inovação é incremental, como a se espera atingir no presente trabalho, quando incorpora alguns novos elementos em relação a produtos, a processos ou em sistemas anteriores existentes mantendo a sua estruturação básica inicial mas não se limitando a uma simples cópia ou imitação. Dantas (2001) refere a gestão da inovação.

De acordo com a AET - *Aliance for Environmental Technology* (2002) acedido no respectivo Web site em 2005 e para se ter uma noção da importância da indústria da pasta para papel apresenta-se na figura 1.2 a evolução da produção mundial da pasta para papel ECF (*Elementar Cloro Free*) entre 1990 e 2002, período ao longo do qual novas unidades de produção surgiram entretanto nos diferentes continentes.

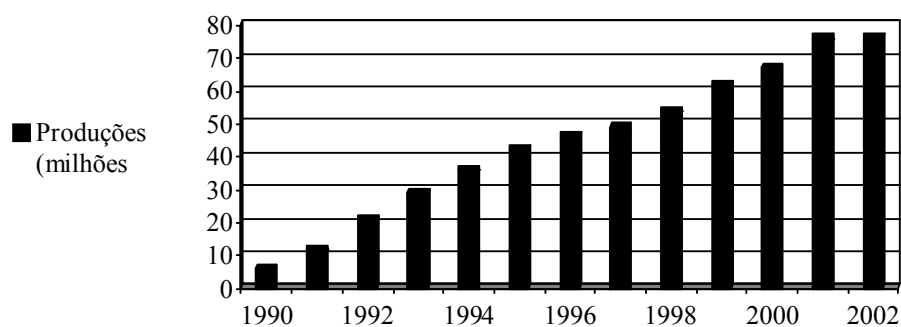


Fig. 1.2 – Evolução da produção mundial de pasta (ECF) para papel

A quantidade de papel consumido em 2000 foi de cerca de 325 milhões de toneladas e segundo a projecção da Jaakko Poyry Research Report (2003), apresentada na figura 1.3, a sua evolução mundial até o ano de 2015 estima um crescimento médio de 2,2%.

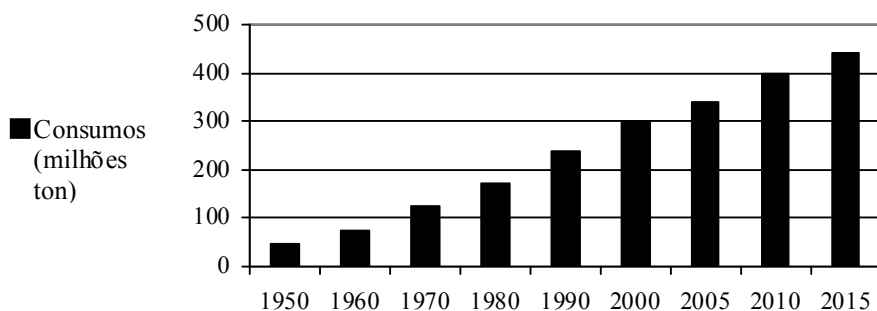


Fig. 1.3 – Evolução do consumo mundial de papel

Segundo a fonte atrás referida, a Jaakko Poyry, apresenta-se ainda na figura 1.4 um interessante estudo relativo às principais variáveis chave que mais afectam os custos e os benefícios das empresas da actividade de produção de pasta para papel.

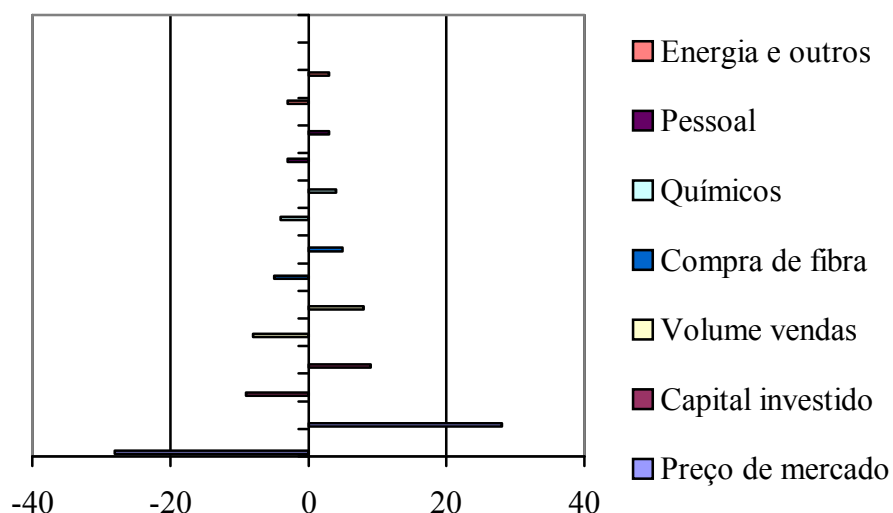


Fig. 1.4 – Importância relativa das variáveis chave

Pela interpretação da figura 1.4 pode-se depreender a importância da variação do valor do preço dos produtos de papel e, consequentemente, a importância da melhoria e optimização dos processos produtivos para, assim, se fazer face às variações negativas do preço do produto no mercado global. Szeto e Jimenez (2005) reportam também um estudo de 2004 efectuado pela empresa Stora Enso Oyj que relaciona a coexistência entre o consumo de papel a informação e o desenvolvimento sintetizado na figura 1.5.

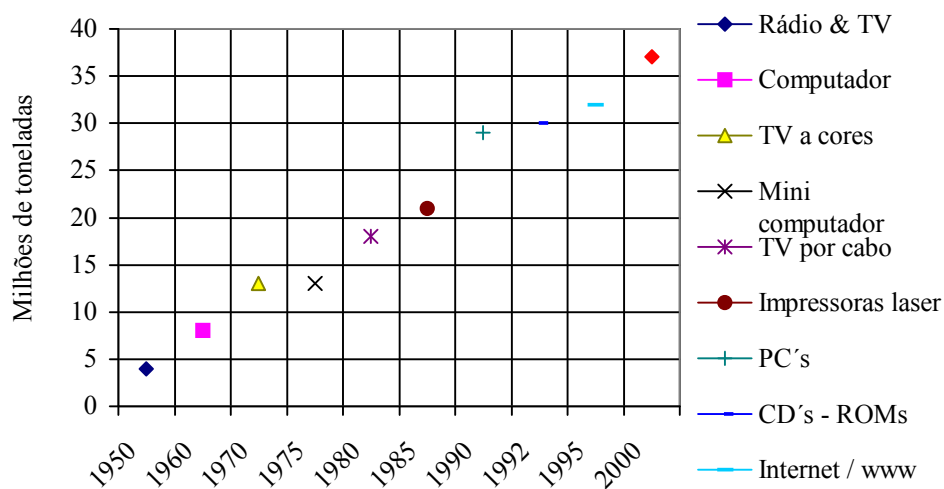


Fig. 1.5 – O consumo de papel, a informação e o desenvolvimento

O sector português da pasta e do papel detém um peso significativo na economia do país caracterizando-se pela existência de empresas com elevado grau de automatização e de mão-de-obra qualificada. As indústrias deste sector ocupam uma posição de relevo no conjunto das indústrias transformadoras portuguesas empregando um elevado número de efectivos e possuindo uma capacidade de produção anual de 1.800.000 toneladas das quais 65% a 70% ainda se direccionam actualmente para o mercado da pasta e a restante parte é integrada directamente para o fabrico do papel. Portugal é também o maior produtor europeu de pasta de eucalipto branqueada (ECF) pelo processo ao sulfato.

Em Portugal é o grupo Portucel Soporcel, constituído em 2001, o que detem maior significado nesta actividade através das três unidades de produção situadas na Figueira da Foz, em Cacia e em Setúbal. A Celbi, propriedade de outro grupo económico, possui, também, uma importante unidade de produção. Os países escandinavos, nomeadamente a Finlândia e a Suécia, são os principais detentores das tecnologias e do *know-how* da fabricação dos equipamentos para a actividade e são, também, importantes produtores de pasta para papel conjuntamente com o Canadá, os E.U.A e o Brasil. Segundo a AET (2002) os 30 maiores produtores de pasta de papel eram os apresentados no quadro 1.1.

Quadro 1.1 – Top 30 da produção de pasta para papel (milhões ton.)

Pais	Produção	Pais	Produção	Pais	Produção
E.U.A.	58,7	África Sul	2,2	Polónia	0,9
Canadá	24,5	Austrália	1,9	Argentina	0,8
China	17,1	Chile	1,9	R. Unido	0,6
Suécia	10,9	Alemanha	1,9	Itália	0,5
Japão	10,6	Áustria	1,6	R. Coreia	0,5
Finlândia	10	Portugal	1,5	R. Checa	0,5
Brasil	6,1	Espanha	1,4	Turquia	0,4
CIS	3,3	Indonésia	1,4	Bélgica	0,4
França	2,8	Índia	1,4	Tailândia	0,3
Noruega	2,3	N. Zelândia	1,4	Colómbia	0,3

De referir que nos últimos anos alguns dos países do *top 30*, a exemplo do Brasil e da Indonésia, investiram bastante no incremento das suas produções de pasta para papel.

Face aos pressupostos atrás considerados relativos à importância do sector da pasta e do papel na economia Nacional e à importante aptidão florestal de que Portugal beneficia com a variedade de eucalipto *globulus* comparativamente aos restantes países europeus e, ao mesmo tempo, admitindo as dificuldades competitivas da nossa indústria associada a este sector no mercado global, justifica-se, plenamente, um trabalho que contribua para o aprofundamento da melhoria dos processos e da produtividade operacional conducentes à criação de valor através do conhecimento e de inovação incremental da gestão da actividade dos serviços de manutenção e das operações em geral.

Para além dos aspectos atrás descritos há que tomar também em linha de conta os obstáculos culturais e organizacionais comuns que se verificam em cada um dos contextos operacionais concretos como por exemplo uma tentativa da implementação prática de alguma das filosofias de manutenção referidas por Canuto (2004) e (2005) apresentadas no capítulo 1.5 que visam melhorar a fiabilidade operacional. Também a percepção do “estado da arte” e a “idade dos equipamentos e instalações” de cada caso concreto comparativamente com a concorrência obtida, por exemplo, através de inquéritos como o efectuado pela AEM – El Mantenimiento en España (2000) e(ou), ainda, através de *benchmark`*s mais específicos como o efectuado por Kahn *et al* (2002) nas diferentes fábricas de produção de pasta e de papel dos E.U.A. apresentado no subcapítulo 1.7.1, são aspectos muito relevantes e a tomar em linha de conta na adopção e na incorporação de modelos operacionais pretendidos diferenciadores cuja aplicabilidade e sustentabilidade resultantes não sejam de difícil implementação. Assim, considera-se no presente trabalho que a defesa de um modelo suportado pela integração conjunta e dinâmica do estudo das causas das falhas e da fiabilidade futura dos equipamentos, na análise dos pedidos e no atendimento das reparações, bem como na gestão das diferentes equipas de manutenção incluindo também o controlo logístico e os custos operacionais associados, pode contribuir para o desenvolvimento sustentado de uma nova visão operacional global que envolve todos os intervenientes do processo industrial baseada na análise do valor e no risco cujo caso de estudo se apresenta no capítulo 4 e é experimentado no capítulo 5. Considera-se assim que o modelo defendido neste trabalho ao integrar modelos parciais, porventura já usados separadamente noutros contextos, proporcione sustentadamente uma mais eficiente e eficaz abordagem da gestão operacional da manutenção dos activos produtivos ou seja dos equipamentos industriais e dos recursos associados aos processos de produção de fluxo contínuo.

1.2 – Objectivo do trabalho

O objectivo deste trabalho visa demonstrar que é preferível para diminuir os custos operacionais de manutenção de uma grande unidade de processo recorrer a recursos internos e externos em vez de recorrer apenas aos externos. Pretende-se também demonstrar que é possível utilizar em conjunto um modelo de fiabilidade, um modelo de filas de espera e um modelo de subcontratação como um modelo de gestão operacional de forma a permitir melhorar a eficiência e a eficácia da manutenção dos equipamentos produtivos. O modelo de fiabilidade semi-paramétrico usado, o dos riscos proporcionais, determina os factores mais significativos que incrementam o risco da avaria dos equipamentos. O modelo paramétrico usado na gestão das equipas recorre à teoria das filas de espera e aos custos operacionais para dimensionar, respectivamente, os recursos diários dedicados (*insourcing*) ao processo manutenção dos equipamentos e os recursos necessários subcontratar (*outsourcing*) pontualmente para os diferentes serviços de manutenção nas paragens programadas ou de oportunidade das instalações.

As melhorias propostas visam adequar o nível de manutenção a cada equipamento e as competências dos recursos internos e(ou) externos necessários regularmente ou pontualmente aos diferentes serviços da manutenção. A quantificação e a caracterização dos factores mais significativos na ocorrência das avarias dos equipamentos permite fazer previsões da actividade da manutenção com base nas tarefas (acções) de maior valor sobre os equipamentos e, assim, adequar os recursos Humanos e materiais à realidade operacional. Finalmente, prevê-se e decide-se acerca dos intervalos de tempo de manutenção ou das circunstâncias operacionais mais adequadas, por vezes de oportunidade, para se efectuarem inspecções, reparações ou substituições de equipamentos ou dos componentes em função dos custos associados. Pretende-se, assim, através de uma metodologia que usa os modelos chamados de parciais ou seja o dos riscos proporcionais, o das filas de espera e o de subcontratação determinar em primeiro lugar a forma e as causas segundo as quais os diferentes factores intrínsecos ou extrínsecos aos equipamentos da área fabril em estudo influenciam a fiabilidade operacional futura para, em seguida, a partir dos dados assim obtidos inferir acerca do dimensionamento das equipas operacionais. Nomeadamente as equipas dedicadas de manutenção dos equipamentos (*insourcing*), as equipas a subcontratar (*outsourcing*), as políticas e as práticas operacionais a seguir e, ainda, da logística de suporte.

Em síntese os modelos parciais atrás referidos permitem acréscimos de valor pela via da optimização dos custos operacionais e da disponibilidade dos equipamentos para produzir. Os casos da aplicação experimental apresentados no estudo desenvolvido no capítulo 5 dizem respeito a conjuntos semelhantes de equipamentos estáticos, rotativos e lineares de uma área fabril, o branqueamento da pasta, bem como da linha de produção de pasta para papel do complexo industrial da Portucel Soporcel em Setúbal.

Note-se que a utilização conjunta do modelo dos riscos proporcionais, *Proportional Hazard Model*, do modelo das filas de espera, *Queuing Model*, e do modelo de subcontratação (*outsourcing*), os dois últimos associados aos custos operacionais, são aplicados neste trabalho aos equipamentos e às equipas de manutenção. Esta situação é, por isso, inovadora, pelo menos no domínio da gestão operacional industrial, pois permite em simultâneo melhorias na fiabilidade dos materiais (equipamentos), devidas à identificação de acções operacionais com maior valor acrescentado, e acréscimos na produtividade dos serviços, diferenciando-se assim substancialmente de outros trabalhos por estes apenas terem abordado de uma forma isolada a utilização de alguns dos modelos atrás referidos.

Assim, neste capítulo 1 faz-se a apresentação e a introdução do trabalho tendo ficado identificado no presente subcapítulo 1.2 o seu objectivo principal. Nos subcapítulos seguintes, ainda de introdução, caracterizam-se alguns dos aspectos gerais considerados importantes para uma melhor compreensão durante o seu desenvolvimento bem com a sua abrangência e, finalmente, termina-se o capítulo 1 com a esquematização do trabalho a desenvolver nos capítulos seguintes. Face ao atrás exposto são caracterizados no subcapítulo 1.3 os principais intervenientes no processo produtivo; no subcapítulo 1.4 faz-se o enquadramento das práticas de manutenção na cadeia de valor e nos subcapítulos 1.5 e 1.6 caracterizam-se os conceitos relativos às filosofias e aos modelos que visam as melhorias de fiabilidade operacional. No subcapítulo 1.7 é abordada a temática relativa às ferramentas que visam a flexibilidade operacional e a competitividade. No subcapítulo 1.8 referem-se aspectos que dizem respeito às qualificações e à multivalência dos recursos operacionais e no subcapítulo 1.9 faz-se referência à problemática da informação em particular dos processos de manutenção, bem como à comunicação em geral. Finalmente, no subcapítulo 1.10 é apresentado o esquema geral do trabalho.

1.3 - Os principais intervenientes no processo produtivo

Aos grandes desenvolvimentos tecnológicos verificados nas últimas décadas num grande número de diferentes famílias de equipamentos mecânicos, eléctricos, de instrumentação e de controlo de processo devem corresponder as melhores práticas operacionais durante o seu ciclo de vida no que diz respeito à sua correcta utilização e manutenção nos contextos produtivos onde operam. Desta forma, as práticas operacionais assumem, cada vez mais, uma importância diferenciadora e decisiva na *performance* da actividade industrial e, consequentemente, na criação de valor e na competitividade dos produtos produzidos num mercado cada vez mais global. Assim sendo, importa no âmbito industrial e operacional abordar as funções e a sua gestão interligando-a com os conceitos mais específicos aplicados neste trabalho. Segundo Visser (1998) a manutenção industrial pode ser enquadrada num sistema incorporado num processo de transformação, apresentado na figura 1.6, e incluída no sistema de produção em que ambas as partes integram a actividade global da empresa. Com efeito, a forma como a actividade da manutenção é executada influencia directamente a produção e os respectivos serviços de apoio e, por consequência, o volume, a qualidade e os custos de produção, assim como a segurança das instalações. Mesmo se o recurso aos serviços externos de manutenção for uma opção assumida pela empresa, eles devem ser encarados como uma parte dos *inputs* que constituem a sua base das operações e podem determinar o desempenho global da empresa.

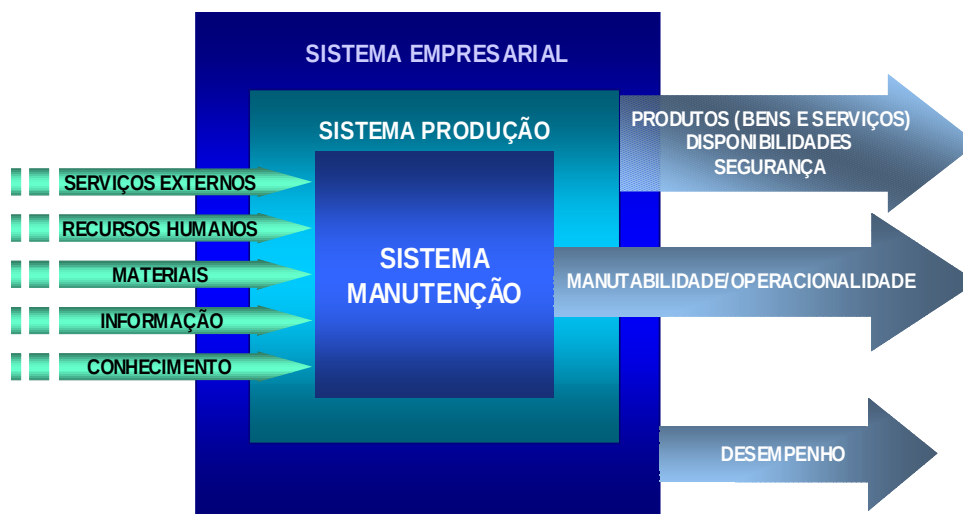


Fig. 1.6 - Modelo *input-output* na actividade empresarial

A partir do modelo tipo *input-output* apresentado na figura 1.6, podem ser identificadas, segundo Tsang (2002), quatro dimensões estratégicas de gestão da função manutenção.

A primeira dimensão relaciona-se com os *inputs* onde surge a necessidade de optar por internalizar (*insourcing*) e(ou) de externalizar (*outsourcing*) os serviços de manutenção. A segunda dimensão diz respeito à organização da própria função manutenção e ao modo como as suas tarefas estão estruturadas envolvendo, também, outras duas dimensões relacionadas com a configuração do próprio processo da manutenção como sendo as metodologias de manutenção e as suas políticas, incluindo a configuração das infraestruturas que a suportam. A terceira dimensão relaciona-se com os sistemas de suporte da função manutenção, como sejam a estruturação e o modo como esta função se organiza bem como com a definição das políticas de manutenção. Finalmente, a quarta dimensão estratégica diz respeito aos conhecimentos e às competências dos recursos internos e(ou) externos para a execução da função manutenção.

No contexto do presente trabalho interessa analisar as componentes operacionais do processo produtivo associadas mais directamente ao produto como sejam as funções da produção (cliente) e da(s) entidade(s) prestadora(s) dos serviços de manutenção aos equipamentos, a logística e serviços externos associados à actividade de manutenção.

1.3.1 – A produção e a manutenção

A produção está sempre associada a um produto ou a um serviço e estes devem ser, segundo Pires (2000), concebidos para um segmento bem definido de mercado. Nesta perspectiva pode dizer-se que tanto a produção como a manutenção, considerando-a como um serviço, produzem em conjunto um produto definido mas com responsabilidades diferenciadas. A função da produção mais próxima do cliente/consumidor do produto final e a função da manutenção mais estritamente ligada aos equipamentos e aos serviços prestados ao cliente/produtor (produção). Marques (1996) caracteriza em traços gerais os tipos de produção em intermitente e contínua e refere que a produção contínua implica, normalmente, com o aumento da complexidade tecnológica dos equipamentos, com o aumento do número de unidades produzidas e, finalmente, com o aumento da repetitividade das operações.

A produção contínua ou de fluxo contínuo, como no caso da produção em estudo, caracteriza-se por um elevado grau de padronização e de complexidade dos equipamentos e implica, necessariamente, ao mesmo tempo uma organização e gestão específica dos recursos dos serviços de manutenção com competências diferenciadas.

Para produzir são necessárias operações mais ou menos complexas executadas e comandadas pelo Homem e, segundo Pinto (2006), a gestão destas operações é a função responsável pelas actividades que permitem a produção dos produtos e(ou) serviços que a empresa ou organização disponibiliza no mercado.

Para produzir, para além do mais, são necessários meios Humanos e materiais sendo o valor acrescentado esperado dessa produção o motor económico da empresa uma vez que permite fornecer produtos úteis e apreciados pelos consumidores (clientes), criar riqueza económica e, finalmente, permite distribuir essa riqueza pelos colaboradores, fornecedores e pelos accionistas depois de assumidas as respectivas obrigações legais.

Admitem-se, à partida, as seguintes definições para as funções produção e manutenção:

- A produção caracteriza-se por um processo que partindo de *inputs* e através de equipamentos e de operações controladas pelo Homem transforma-os em *outputs* com valor acrescentado apreciado e usados pelos consumidores (mercado);
- Por sua vez a manutenção é caracterizada por um processo que permite garantir a disponibilidade (fiabilidade e manutibilidade) e a segurança, bem como a possibilidade da continuidade da normal exploração dos equipamentos pelo menor custo até ao final da sua vida útil esperada. Urwin *et al* (1998) apresentam um exemplo do custo do “ciclo de vida” de equipamentos de bombagem na indústria química e Naikan *et al* (2005) referem uma análise do benefício da manutenção.

Cabe agora referir, segundo Pereira (1996), que o conceito de equipamento é vulgarmente associado a sistemas reparáveis, sendo estes caracterizados por um conjunto de elementos em que a ocorrência de avaria não significa o fim da sua operacionalidade mas, somente, uma interrupção dessa mesma operacionalidade.

Ao longo do tempo e cada vez mais se tem verificado maiores exigências (internas e externas) na qualidade e na inovação dos produtos, na segurança das pessoas e dos equipamentos, na protecção do meio ambiente e, ao mesmo tempo, a necessidade de produzir pelo mais baixo custo. Relativamente a estes propósitos vários autores a seguir citados têm contribuído para o desenvolvimento de estratégias, de técnicas e de ferramentas para a melhoria das organizações e, conseqüentemente, para a mais adequada gestão da produção e da manutenção.

No que diz respeito à função produção a maioria dos autores referem a importância da gestão das operações. Pinto (2006) refere que a gestão das operações é a função responsável pela gestão das actividades e, segundo Carvalho (2002), juntamente com a logística produzem os produtos e(ou) serviços que uma empresa disponibiliza no mercado. Regra geral o termo operações é utilizado para se referir a actividades ligadas à satisfação dos pedidos dos clientes (encomendas ou ordens), sendo para o caso das empresas industriais as operações referem-se às actividades de produção e de montagem. Assim, Courtois *et al* (1996) caracterizam as tipologias de produção em função de três grandes critérios:

- Função da importância das séries de fabrico e da sua repetitividade;
- Função da organização do fluxo de produção;
- Função do tipo de relacionamento com os clientes.

O caso a que o presente trabalho se aplica é caracterizado pela produção de grandes séries repetitivas. O fluxo de produção é contínuo, designado pelos anglo-saxónicos por *flow shop*, e as relações com os clientes são a partir do *stock* ou da encomenda. Quanto aos diferentes modelos de organização da produção eles podem ser implementados em secções homogéneas, usadas nos processos descontínuos, implantação em linhas de fabrico orientada por produto ou por família de produtos e por implantação em células de fabrico especializadas.

Os objectivos gerais da gestão de operações são produzir um produto específico com qualidade requerida dentro de um prazo determinado e a um custo mínimo. No entanto, a maioria das organizações utiliza critérios adicionais para fins de avaliação e de controlo.

Os critérios típicos de *performance* de uma empresa transformadora incluem: o volume de produção; o custo (materiais, mão-de-obra, distribuição, desperdícios, etc.); a ocupação do equipamento e da mão-de-obra (*backlog*); a qualidade e a fiabilidade do produto; o cumprimento dos prazos; o investimento (retorno do activo); a flexibilidade na mudança de produtos e na variação do volume de produção.

Schoenberger (1986) caracteriza os objectivos gerais da gestão das operações através de medidas voltadas para dentro da empresa e, por isso, estas têm pouca importância para o cliente. Contudo, o autor atrás citado, também observa que as melhores empresas utilizam medidas de avaliação do desempenho viradas para os clientes que são resumidas ao custo (para o cliente), ao prazo de entrega, à qualidade, e à flexibilidade.

No que diz respeito à função manutenção vários são os autores que se centram em trabalhos que visam a sua caracterização, bem como a sua interligação com a manutibilidade e a fiabilidade dos equipamentos. Verifica-se que bastantes autores usam os termos de “sistema”, de “bem”, ou de “máquina” com o significado correspondente ao de “equipamento”, sendo este o termo usado no presente trabalho.

Pereira (1996) considera que o conceito de manutenção tem evoluído ao longo dos tempos. A evolução da função manutenção tem vindo a realizar-se de dois modos distintos ao longo dos anos:

- A evolução do modelo de manutenção com o advento dos diferentes tipos de manutenção e a respectiva interacção;
- A evolução do âmbito da própria função com a tomada de consciência, por parte dos responsáveis pelas organizações, de que a função manutenção começa logo após a decisão do investimento num dado bem com a decisão inerente à escolha de um entre um conjunto de bens semelhantes.

Sena (2001) refere norma NFX60-010 para a caracterização da manutenção como sendo uma simbiose de acções para a conservação ou reposição de um sistema num estado, ou em níveis de dependabilidade, de modo a que o sistema possa executar a função requerida.

Segundo o autor atrás referido os objectivos da manutenção têm que ver com a exploração e gestão dos equipamentos durante a sua vida útil, assegurar a disponibilidade optimizada dos equipamentos obtendo o máximo retorno do investimento, assegurar a segurança dos utilizadores do equipamento e controlar os efeitos das falhas envolventes. Podem, ainda segundo Sena (2001), considerar-se os seguintes domínios de intervenção da manutenção:

- A gestão;
- A supervisão;
- A previsão;
- O diagnóstico de avarias ou falhas;
- A análise de avarias;
- A execução das actividades de manutenção;
- A garantia da qualidade.

Acrescenta-se, ainda, os seguintes domínios de intervenção da manutenção:

- O conhecimento do processo produtivo;
- A logística;
- A logística inversa;
- A segurança;
- A protecção ambiental;
- A satisfação do cliente (produção);
- A formação e o treino;
- O desenvolvimento de métodos de trabalho mais eficientes;
- A participação nos novos projectos ou melhorias;
- Belfo (2007) acrescenta também a optimização dos processos.

Kelly e Harris (1997) referem que a gestão da actividade da manutenção deve visar a orientação e a organização dos recursos de modo a que a disponibilidade e o desempenho de uma instalação seja controlada a determinado nível e Detragiache (1994) acrescenta que a gestão da manutenção deve, também, fazer-se de acordo as vertentes económica, técnica e probabilística.

Assis (2004) faz a associação entre os conceitos de manutenção e de manutenibilidade. O autor citado define que o último conceito atrás referido traduz a capacidade de um sistema ser mantido em boas condições operacionais enquanto que o de manutenção constitui o conjunto de acções empreendidas com o objectivo de repor o sistema falhado nas condições operacionais semelhantes ao de novo. Considera que a manutenibilidade é um parâmetro de *design* do sistema que influencia a sua manutenção. O mesmo autor refere, ainda, que enquanto o enfoque da manutenibilidade está em conceber um sistema que em caso de falha seja reparado o mais rapidamente possível enquanto que o da fiabilidade está em conceber um sistema que funcione o mais possível sem falhar.

Refere-se também aqui Mendonça *et al* em www.xenofonte.demi.fct.unl.pt acedido 2007a onde os autores atrás citados introduzem o conceito de sistema reparável como sendo aquele que após falhar a realização de uma ou mais funções pode ser reparado, satisfatoriamente, para a realização das suas funções habituais por qualquer método que não seja a sua total substituição.

Pereira (1996) refere que a evolução tecnológica tem feito com que a manutenção assuma uma importância cada vez maior na gestão da empresa moderna. A importância da fiabilidade e da disponibilidade das máquinas não cessa de aumentar fazendo com que, cada vez mais, a gestão e a organização da manutenção tenham de assentar em modelos matemáticos referentes ao comportamento dos materiais; aos modelos de organização que contemplem a classificação das intervenções; à análise de avarias; na previsão de tempos de espera; ao dimensionamento das equipas e à disponibilidade dos equipamentos e, finalmente, em modelos de gestão que contemplem as peças de reserva e os consumíveis e, conseqüentemente, a um conjunto de decisões de manutenção que assentam na renovação de equipamentos propostos em vários trabalhos entre os quais se destaca o de Jardine (1979). Sherwin (2000) faz a revisão aos modelos de manutenção.

Em qualquer das circunstâncias a função da manutenção pode ser encarada como uma prestação de um serviço, como no caso de estudo à função da produção da pasta para pepel, pelo que nestas condições Pinto (2003) adopta uma caracterização semelhante à de Gronroos (2000) definindo genericamente o conceito de serviço como uma oferta relevante produzida por uma organização para um cliente numa linguagem com significado para os trabalhadores e para os accionistas.

1.3.2 – A logística e os serviços

Moura (2006) refere que a principal razão justificativa para a existência da logística, também denominada por muitos autores por gestão da cadeia de abastecimento, é a de servir, nas melhores condições, o cliente final ou o cliente intermédio. O mesmo autor trata também de questões associadas à chamada logística inversa e o seu impacto presente e futuro nas organizações e a forma da vida das gerações futuras. O conceito de logística foi inicialmente utilizado por questões militares dada a importância da colocação dos materiais e equipamentos em localizações específicas. Christopher (1992) e Williamson e Spitzer (1990) e, ainda, o *U. S. Council of Logistics Management* adoptam, segundo Carvalho (2002), uma definição de logística mais ou menos formal e oficial como sendo o processo estratégico que permite acrescentar valor e diferenciação, cria vantagem competitiva, aumenta a produtividade e rentabiliza a organização do planeamento e controlo dos fluxos de materiais, produtos, serviços e informação relacionada desde o ponto de origem ao de consumo de acordo com as necessidades dos elementos a serem servidos pelo sistema logístico em causa.

A logística pode ser associada à produtividade, à qualidade e à reengenharia. Grafanhete (1996) considera a manutenção preventiva como um factor chave na produtividade na cadeia de fornecimento logística.

A logística, segundo Moreira (2002), apresenta-se como o garante da integração das actividades internas desde o transporte, armazenagem, gestão de *stocks*, movimentação em plataformas até à gestão de sistemas de informação e comunicação, numa óptica global e não individual, com o objectivo nuclear de disponibilizar valor para os clientes.

Um sistema logístico, na óptica processual, pode ser encarado como um grupo de actividades cujo objectivo é converter um conjunto de *inputs* em *outputs* de valor para o cliente. As actividades integram, segundo Carvalho (2002), os atributos de tempo a minimizar; de lugar a otimizar para permitir a menor movimentação de uma quantidade determinada e aligeirar o *pipe line* logístico através da integração e da redução de *stocks* e de custos. A logística influencia a produtividade operacional e em particular a da manutenção industrial pois sendo multifactor por existir mais do que um *input* face ao *output* resultante do serviço prestado.

Neste caso pode ser representada a produtividade de acordo com a expressão a seguir apresentada.

$$\text{Produtividade multifactor} = \text{Output} / \text{horas}^*$$

* Mão-de-obra, movimentações, espera, etc.

Novack *et al* (1995) refere ainda a qualidade logística como outro aspecto a considerar numa óptica dos fluxos processados por uma empresa através de *standards* definidos que permitem medir e avaliar usando uma série de mecanismos para a melhoria do seu desempenho. A qualidade logística tem que ser definida antes de ser avaliada e controlada e não é mais do que um conjunto de medidas *standard* e limites de tolerância entre a empresa e os seus clientes. Se esses *standard(s)* forem cumpridos dentro dos limites de tolerância então existe qualidade sob o ponto de vista logístico. Read e Miller (1991) definem a qualidade logística através do suporte total às necessidades dos clientes; das entregas a tempo; da ausência de erros nos fluxos de produtos e na inexistência de roturas de *stock*. Perante os clientes, cada vez mais exigentes e conhecedores, as empresas necessitam de novos rumos para a gestão.

A reengenharia, segundo Davenport (1994), é uma forma de encarar os grandes objectivos e de servir os clientes no sentido de os fidelizar. Carvalho (2002) considera necessárias as seguintes etapas para a transformação de uma empresa hierárquica/funcional, correspondente à visão tradicional para o produtor, grossista, retalhista e prestador de serviços, para uma empresa processual:

- Identificação dos processos chave, isto é, dos processos onde deve ser feita a reengenharia;
- Identificação dos instrumentos de análise, isto é, das ferramentas que permitem escarpelizar processos existentes e apoiar a construção dos novos processos;
- Identificação das propriedades dos processos, isto é, dos atributos que caracterizam aqueles que são submetidos à reengenharia;
- Desenvolvimento de visões e objectivos dos processos redesenhados;
- Compreensão, exploração e medição dos processos existentes;
- Planeamento e construção dos protótipos dos novos processos.

A logística engloba, para além dos sistemas de informação, a gestão da compra e do abastecimento, a gestão do transporte e a gestão do armazenamento. Relativamente ao processo de compra Weele (1994) refere situações que envolvem tarefas rotineiras e de baixo risco ou novas tarefas de elevado risco. Parece pacífico afirmar-se que uma empresa transformadora tem necessidade de se abastecer de matérias-primas, de vários materiais e de equipamentos para assegurar o seu processo produtivo através das actividades de produção e da manutenção.

No caso da manutenção, o que interessa aqui abordar, existe tendencialmente um grupo de materiais que se afiguram centrais. Outro grupo para os quais se torna adequada a constituição de *partnerships* estáveis cliente/fornecedor; outro grupo de materiais de natureza mais rotineira e, finalmente, um grupo considerado mais vulnerável e que carece de uma contínua e especial atenção de abastecimento, sob a pena de entrar rapidamente em rotura. No quadro 1.2 apresenta-se, de acordo com Carvalho (2002), a classificação dos materiais (produtos) segundo o impacto financeiro e o risco de abastecimento.

Quadro 1.2 – Classificação dos materiais compra/abastecimento

		Risco de abastecimento	
		Baixo	Elevado
Impacto da compra	Elevado	Materiais centrais	Materiais estratégicos
	Baixo	Materiais rotineiros	Materiais vulneráveis

Cuignet (2006) refere a importância do aprovisionamento e da conservação dos produtos (materiais) industriais. Considera que uma das principais missões do armazém de produtos/materiais e consumíveis industriais, para além de os manter em perfeito estado de conservação, consiste em disponibilizar em tempo esses artigos para que possam ser utilizados nas intervenções da manutenção e da produção.

A centralização e, em oposição, a descentralização do abastecimento e compra é outra questão relevante.

Refere-se, como exemplo, o caso do grupo Portucel Soporcel em que apesar da sua actividade operacional se encontrar geográficamente dispersa, conforme referido em 1.1, em diferentes unidades produtivas o abastecimento e a compra de produtos e de materiais é levada a efeito, em boa parte, de uma forma centralizada.

Uma fatia substancial das despesas de manutenção dizem respeito às exigências por parte do cliente, a produção, no que diz respeito à disponibilidade, qualidade e segurança dos equipamentos. Porém, quando estão envolvidos materiais ou serviços a adquirir ou a subcontratar, as respostas a estas exigências têm custos logísticos, caso não existam disponíveis, pelo que devem ser aceitáveis para a empresa e, ao mesmo tempo, devem permitir responder às exigências financeiras.

De entre as diversas tipologias diferenciadoras da gestão dos serviços Thomas (1978), Lovelock (1983), Johnston (1995), Gronroos (2000) e Silvestro e Cross (2000) caracterizam as que mais interessam considerar no contexto da manutenção industrial como sejam:

- Os serviços baseados nas pessoas (processos) e nos equipamentos;
- A amplitude de decisão do pessoal de contacto;
- A fonte de valor acrescentado (*front-office* ou *back-office*);
- A focalização no produto ou no processo.

As operações focalizadas nas pessoas, nos processos ou nos equipamentos são aquelas em que estas são essenciais para a prestação do serviço. A tipologia caracterizadora de uma menor amplitude de decisão dos colaboradores verifica-se quando as alterações ao serviço ou ao processo carecem sempre de validação e autorização da hierarquia. Também um elevado "peso" do *front-office* na criação de valor pode ocorrer quando a proporção destes recursos em contacto com o cliente é superior ao do *back-office*. Finalmente, um serviço orientado para o processo é aquele em que o mais importante é a forma como o cliente recebe o serviço, *i. e.*, a forma como o serviço é prestado. Silvestro *et al* (1992) correlaciona um conjunto de diferentes características dos serviços relevantes para a gestão da qualidade e classifica-as em três grandes grupos:

- Os serviços profissionais;

- Os serviços de grande consumo;
- Os *service shop*.

A classificação que se atribui aos serviços não planeados prestados pela função da manutenção industrial enquadram-se nos serviços profissionais devido a serem customizados e orientados para um processo que agrega uma grande parte do valor acrescentado prestado pelo *front-office* e onde também se verifica uma grande amplitude de decisão da resposta às necessidades do cliente (produção). Os serviços de manutenção planeada proactiva são, como no caso deste trabalho, uma consequência do tratamento dos dados e da informação recolhida pelo *back-office* proporcionando assim, segundo Pinto (2003), acréscimos do valor do serviço prestado pelo *front-office*.

1.4 – As práticas de manutenção na cadeia de valor

Ao olharmos para uma empresa não visualizamos de imediato os reais e os potenciais focos de vantagem competitiva. As empresas são constituídas por um conjunto mais ou menos complexo de actividades distintas mas que se inter-relacionam entre si. Porter (1985) concebeu uma metodologia para identificar as possíveis fontes de vantagem competitiva arquitectando, assim, o conceito de cadeia de valor. A cadeia de valor de uma empresa é formada pelo conjunto de todas as suas “actividades de valor” convertendo meios materiais e Humanos (*inputs*) em bens finais, produtos ou serviços (*outputs*). O mesmo autor define valor como a “quantidade” que os compradores estão dispostos a pagar pelo que uma empresa lhes proporciona e quanto mais estiverem dispostos a pagar mais a empresa poderá vender. A figura 1.7 representa a cadeia de valor genérica.

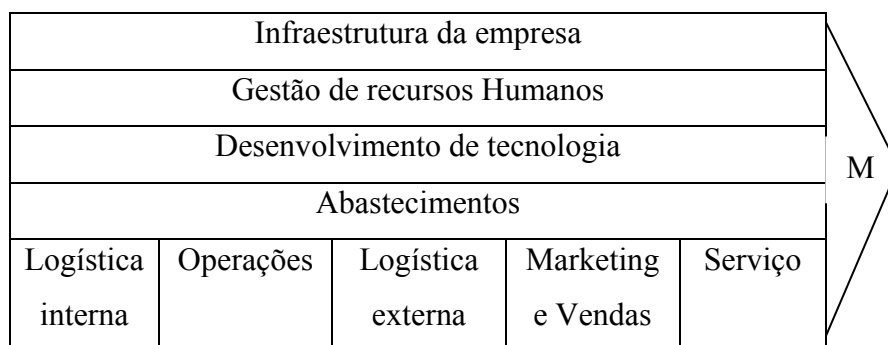


Fig. 1.7 – Cadeia de valor genérica

A cadeia de valor é constituída por dois grandes blocos:

- As actividades de valor realizadas na empresa com natureza e tecnologia diferentes;
- A margem (M) que representa a diferença entre o valor criado e o custo total de todas as actividades para o gerar.

São as actividades chamadas de apoio como a gestão dos recursos Humanos e o desenvolvimento da tecnologia, bem como as actividades primárias como sejam as operações, a logística e o serviço de suporte prestado pela função manutenção no contexto operacional onde se insere que se enquadram no âmbito de presente trabalho.

Porter (1989) considera ainda que as actividades, quer sejam primárias ou de apoio, se classificam em três tipos:

- As actividades directas são as directamente implicadas na criação de valor;
- As actividades indirectas são as que contribuem para que as directas funcionem;
- As actividades de segurança e qualidade garantem a qualidades das anteriores.

Pereira (1996) introduz as noções de fiabilidade e qualidade considerando-as como indissociáveis. Refere ainda que a fiabilidade dos equipamentos vai condicionar a qualidade e o valor dos produtos produzidos e aparece como uma componente da qualidade juntamente com as características de desempenho, manutenibilidade, disponibilidade, segurança de utilização, características não poluentes e custo global de posse. Krishnaiah e Rao (1988) e Lyonnet (1991) apresentam a qualidade como uma forma de garantir a fiabilidade dos bens produzidos visto que a não fiabilidade tem custos elevados na devolução de produtos, na perda de mercado com a consequente degradação da imagem de marca e, consequentemente, na manutenção mais cara dos equipamentos. Fialho (2004) refere a importância que a função manutenção desempenha junto dos responsáveis operacionais pela melhoria na condução dos mesmos e permite um aumento da qualidade do produto final oferecido pelos equipamentos.

Em resumo podem estabelecer-se os seguintes objectivos da manutenção industrial na cadeia de valor:

- Reduzir ao mínimo os custos devidos às paragens dos equipamentos por avaria que comportem perdas de produção e os custos da própria actividade de manutenção;
- Limitar a degradação do equipamento e, como consequência, o incremento da qualidade do(s) produto(s) e a segurança das pessoas, do ambiente e dos bens;
- Proporcionar conhecimentos e assistência, a partir da experiência adquirida, a todos aqueles que intervêm no projecto e gestão de novas instalações;
- Joaquim Belfo (2007), director da manutenção do complexo industrial de Setúbal do grupo Portucel Soporcel, considera ainda o acréscimo do ciclo de vida útil dos equipamentos.

Assim, estes são os principais aspectos em que a função manutenção pode contribuir para criar valor. Pelo atrás exposto pode-se afirmar que a função manutenção tem uma forte relação com os sectores produtivos principalmente na qualidade, de acordo com Pereira (1996), na produtividade e, ainda, um papel fundamental na melhoria dos resultados operacionais e financeiros dos negócios. A área da manutenção, quando identificada e otimizada dentro da cadeia de valor da organização, pode oferecer vantagens competitivas e segundo Porter (1986) e (1989) ela desenvolve actividades primárias na manutenção dos equipamentos produtivos e dos bens de capital e, ainda, nas actividades de apoio dentro da cadeia de valor (energia elétrica, água, ar comprimido, vapor). Cuignet (2006) apresenta um modelo que se articula em torno de um processo que se denomina por círculos (concêntricos) dinâmicos e onde se inserem 36 boas práticas de gestão da manutenção e cujo objectivo é convergir sequencialmente até ao centro (alvo) do referido círculo sinal da consolidação dessas práticas consideradas de “excelência”. O processo, segundo o autor atrás citado, deve ser avaliado e para isso usa 440 critérios de avaliação que podem ser classificados em três grandes categorias as quais compreendem as boas práticas técnicas, as boas práticas de gestão e, finalmente, as boas práticas humanas.

As boas práticas técnicas englobam os modos operatórios, a informação técnica e os dados históricos entre outras. Das boas práticas de gestão referem-se a enunciação dos objectivos a atingir, o planeamento diário e o acompanhamento a intervalos curtos de tempo. Finalmente as boas práticas humanas dizem respeito à gestão das competências e à integração da manutenção na produção entre outras.

O desenvolvimento do processo faz-se sequencialmente do exterior para o interior até ao alvo através dos círculos dinâmicos sucessivos que compõem as diferentes práticas das quais na sua maior parte são apresentadas na figura 1.8.

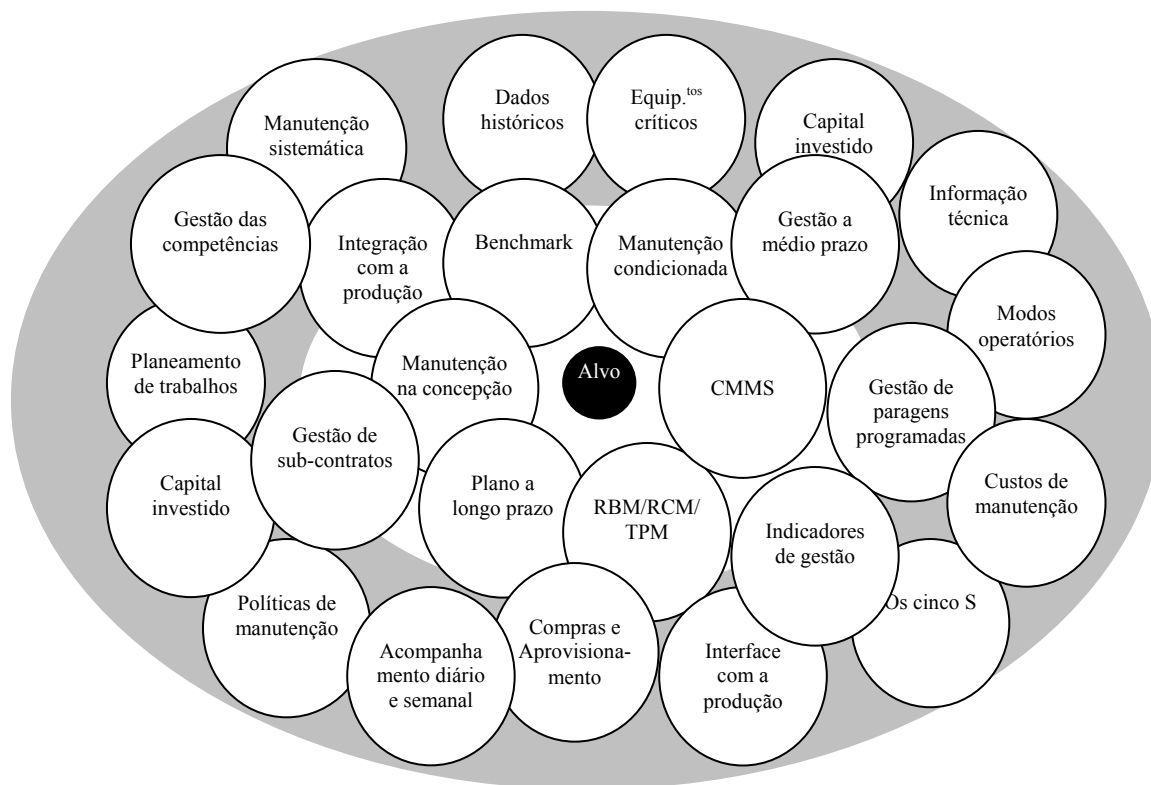


Fig. 1.8 – Círculo dinâmico das boas práticas

O círculo exterior contém 18 práticas fundamentais e correspondem àquelas que devem ser desenvolvidas em primeiro lugar tais como a manutenção sistemática; o planeamento semanal; a caracterização dos equipamentos críticos; a informação técnica e os custos de manutenção entre outras. Ao círculo intermédio inserido no atrás referido corresponde à consolidação indispensável das práticas como por exemplo a gestão a médio prazo; a gestão de peças e equipamentos; a integração das operações com a produção; a gestão de sub-contratos entre outras que prefazem um total de 11 práticas. Finalmente, para se atingir o ponto central (alvo) correspondente à excelência das boas práticas operacionais são necessárias, entre outras, práticas de *benchmarking*; a prestação de manutenção em função da condição dos equipamentos; a participação da função manutenção na concepção e no projecto e, ainda, segundo o autor atrás citado seguir uma filosofia e um modelo de manutenção referindo-se em particular ao RCM – *Reliability Centered Maintenance* e o TPM – *Total Productive Maintenance*.

Finalmente, subentende-se que as boas práticas de gestão nunca devem ficar imobilizadas mas antes adaptarem-se continuamente aos objectivos estratégicos da empresa.

1.4.1 – As práticas técnicas

Os dados históricos dos equipamentos (ocorrências) e o seu tratamento estatístico, como por exemplo o apresentado por Kendall e Stuart (1976), são a base de qualquer processo da gestão da manutenção e constitui uma orientação básica para posteriores decisões de manutenção ao longo da vida dos equipamentos. Estes dados dizem respeito aos tempos entre avarias e às circunstâncias em que ocorreram, às quantidades produzidas ou à carga a que estão sujeitos e aos respectivos custos directos e indirectos os quais, por sua vez, podem influenciar, necessariamente, o conteúdo e a frequência das acções de manutenção preventiva sobre os equipamentos e podem, ainda, desencadear análises ao desempenho no sentido de melhorar a fiabilidade operacional.

A informação técnica hoje acessível também através da “Internet” é essencial para o conhecimento dos equipamentos que vão ser intervencionados pela função manutenção. De acordo com Cabral (1998a) para associar a documentação técnica aos equipamentos e à sua localização no terreno utiliza-se, geralmente, um sistema de codificação. Podem existir, de acordo com Cuignet (2006), três tipos de codificação:

- A codificação funcional dos equipamentos de uma instalação produtiva;
- A codificação das matrículas de cada um dos equipamentos físicos instalados nas diferentes funções de uma instalação produtiva;
- A codificação dos artigos em armazém com os diferentes tipos de gestão previamente assumidos.

A manutenção preventiva sistemática consiste em efectuar a manutenção de um equipamento em intervalos de tempo ou de volume de produção regulares. Este tipo de manutenção difere da manutenção curativa e correctiva, de acordo com Pereira (1998), porque a primeira refere-se à manutenção após a avaria e a segunda diz respeito às operações efetuadas sobre o equipamento tendo em vista a melhoria da sua capacidade de produção, eficácia, segurança e durabilidade.

O autor atrás citado refere os diferentes tipos de manutenção que se apresentam na figura 1.9.

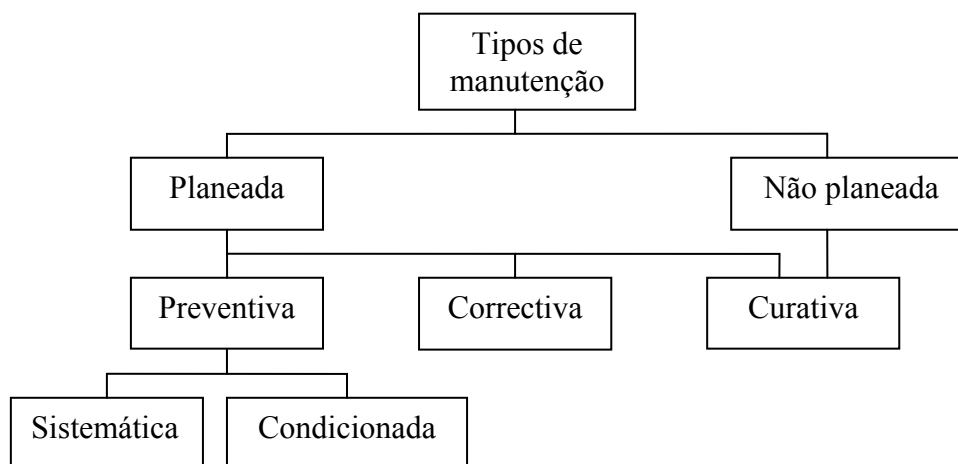


Fig. 1.9 – Tipos de manutenção

Mobley (1999) apresenta várias técnicas de manutenção preditiva (condicionada) para a monitorização e análise da condição dos equipamentos como as vibrações; os ultrasom; a termografia; a tribologia; o controlo de processo; as inspecções visuais e outras técnicas não destrutivas. De entre as várias técnicas preditivas de Manutenção referidas a análise de vibrações é considerada, pelo autor atrás citado, como sendo dominante nos programas de gestão da manutenção pelo que nesta perspectiva Al-Najjar (2000) evidencia através da apresentação de um caso de estudo a importância da sua aplicabilidade em fábricas de papel. Canuto (2002) apresenta, para além da manutenção reactiva (não planeada) que inclui a curativa, a manutenção proactiva (planeada ou não) que contempla o melhoramento (*redesign*) e a busca de falha.

Por outro lado Moubray (1999) baseando-se na SAE standard JA10111 propõe também o conceito da avaliação do contexto operacional; a caracterização das funções dos equipamentos e sistemas; a avaliação das consequências das falhas funcionais e dos modos de falha característicos e introduz, ainda, a noção associada às diferentes curvas representativas da condição (fiabilidade) dos componentes e(ou) equipamentos durante a sua vida até à avaria. Chama também a particular atenção para a importância dos diferentes tempos que medeiam entre o início das falhas e as avarias em função dos modos de falha característicos.

Pereira (1996) considera, ainda, a importância da avaliação do risco de avaria dos componentes que fazem parte dos sistemas reparáveis. A avaliação do risco é caracterizada através da designada função de risco que representa uma probabilidade condicionada de uma ocorrência (avaria).

A propósito de sistemas reparáveis, já atrás referidos, Cassady e Pohl (2001a) consideram uma modificação à definição de Ascher e Feingold (1984) no que diz respeito a estes sistemas definindo-os como aqueles que após avaria podem ser recuperados para o cumprimento da sua função através de acções de manutenção incluindo as de substituição.

As acções de manutenção podem ser classificadas como correctivas, curativas e preventivas sendo que as primeiras correspondem àquelas quando o sistema avaria e as segundas pretendem preveni-las. Moubray (1999) considera ainda as acções por defeito as que são efectuadas para a detecção de falhas ocultas por exemplo em dispositivos de segurança. Kijima (1989) e Kijima *et al* (1988) fazem a distinção entre as diferenças a observar no que diz respeito à forma como as reparações dos equipamentos são efectuadas e classifica-as como “reparações perfeitas” e “reparações mínimas”. A primeira forma assume que *good as new* depois do equipamento reparado e a segunda implica *bad as old* depois da reparação, isto é o equipamento mantém a mesma idade (tempo) de quando avaria se verificou. Pham e Wang (1996) consideram também a manutenção imperfeita com um modelo que se situa entre *good as now* e *bad as old*. Jardine e Zhang (1998) apresentam modelos que incluem também reparações mínimas.

Vários autores entre os quais Dwight (1995) e Wireman (2004a) referem ainda que a *performance* de um sistema reparável pode ser medido através do número de falhas (avarias) verificadas, da disponibilidade do sistema e, ainda, através dos custos correspondentes ao nível da *performance* da fiabilidade.

1.4.2 – As práticas Humanas

Cuignet (2006) refere como prática corrente em numerosas empresas que algumas das especialidades de manutenção são subcontratadas ou “reforçadas” existindo, ainda, situações em que a execução da manutenção é totalmente subcontratada.

Neste contexto as competências do pessoal interno devem evoluir permanentemente, sejam elas competências técnicas ou competências de gestão. A gestão das competências assume, assim, um papel relevante no contexto operacional e para isso devem ser definidas claramente as competências pretendidas, em coerência com a visão estratégica da empresa e, posteriormente, efectua-se um levantamento das competências existentes definindo-se a diferença entre a situação pretendida e a existente. Esta diferença deve ser tida em consideração pelo departamento de formação e, consequentemente, integrada nos programas de desenvolvimento.

Sendo a subcontratação uma prática corrente quando necessária no processo de manutenção e particularmente nos casos pagos à hora ou pagos à tarefa torna-se pertinente assegurar de igual modo, para além da sua avaliação técnico/económica, as competências do pessoal externo como garantia da qualidade da sua execução dos trabalhos. Neste contexto é também considerada como prática avançada a integração cada vez maior nas actividades da produção de missões antes confiadas à função manutenção. Esta prática atrás só pode ser conseguida através da sua compreensão e aceitação por parte dos intervenientes do processo produtivo e também da maior ou da menor competência e da multivalência funcional dos recursos humanos da produção e da manutenção. A este propósito Cuignet (2006) refere que a integração da manutenção na produção evita a presença permanente de pessoal da manutenção na unidade de produção e limita, até certa medida, as chamadas de emergência às avarias caracterizadas por Pereira (1996) quanto à rapidez e às causas aonde se incluem, também, as de utilização incorrecta dos equipamentos.

A componente humana é essencial e constitui o recurso mais valioso de uma empresa.

A gestão das capacidades técnicas de comunicação e de comportamento são indispensáveis para o êxito de qualquer projecto de melhoria. Também na gestão pelo valor o factor humano constitui um elemento chave para o sucesso. Uma das características intrínsecas da gestão pelo valor é o recurso ao trabalho de equipas pluridisciplinares. Estas equipas devem ser orientadas por um *leader* qualificado.

A selecção adequada do *leader* permitirá gerar o clima de motivação e de participação que fomente um real espírito de grupo.

Na gestão pelo valor será sempre preciso ter em conta os seguintes aspectos:

- O trabalho em equipa: motivação dos indivíduos para o trabalho em conjunto, direccionado para soluções comuns e evitando confrontação;
- A satisfação: reconhecimento do mérito das contribuições individuais e dos resultados do trabalho em equipa;
- A comunicação: aproximação dos indivíduos pela melhoria da comunicação entre eles;
- A motivação para a mudança: desafiando o *status quo*, de forma a provocar mudanças benéficas;
- A apropriação dos resultados: apropriação dos resultados das actividades da gestão pelo valor pelos responsáveis pela sua aplicação.

A fiabilidade Humana, quando diz respeito a um sistema de produção, é referida por Assis (2004) como a sua interactividade com as máquinas. Esta interactividade pode conduzir a erros que, por sua vez, são considerados como falhas em relação a um objectivo proposto ou a um desvio em relação a uma norma. Lisboa (1988) quantifica os erros humanos e os comuns modos de falha em equipamentos (sistemas).

Reason (1990) refere-se aos erros humanos. Kantowitz e Sorkin (1983) enfatiza os factores a eles associados e Swain e Guttman (1983) classifica os erros em cinco grandes grupos relativamente aos planos de organização do trabalho:

- Erro de omissão quando a tarefa não foi executada como devia;
- Erro de execução quando a tarefa não foi executada na forma prevista;
- Erro de derivação quando foi introduzida uma acção que não estava prevista;
- Erro de sequência quando a tarefa foi executada num momento não previsto;
- Erro de atraso quando a tarefa não foi executada no tempo (duração) determinado.

Referem-se Kirwan e Ainsworth (1992) e Kirwan (1994) no que diz respeito aos dois principais métodos da análise da fiabilidade Humana (HRA). Um com base probabilística e o outro método baseado na teoria cognitiva.

Brown e Patterson (2001) da Universidade de Califórnia, E. U. A, introduzem no *design* de sistemas de *hardware* e *software* a importância do erro humano e consideram a necessidade do *benchmark* relativo à dependabilidade (fiabilidade, manutenibilidade, disponibilidade e segurança). Mason (1992) apresenta uma metodologia que se focaliza na influência dos factores humanos no risco de avaria e nos acidentes nas operações efectuadas pelo pessoal de manutenção. A técnica e os métodos de análise da fiabilidade humana desenvolveram-se na indústria nuclear devido às possíveis graves consequências daí resultantes enquanto noutras indústrias se encontram ainda em desenvolvimento. As técnicas THERP – *Technique for Human-Error Rate Prediction* e SHERPA – *Systematic Human Reduction and Prediction Approach* são, segundo Assis (2004), a que mais se destacam e, segundo o autor citado, o Homem contribui em cerca de 10% para as chamadas falhas gerais e de 50% a 80% para as falhas importantes (resultantes em acidentes). Patton (1994) faz referência à MIL-STD-1472 *Human Engineering Design for Systems, Equipment and Facilities* como um *standard* relativo a esta temática.

Segundo Almeida (2005) o “trabalho”, enquanto objecto de estudo, oferece um vasto campo de análise repartido, entre outros, pela organização das tarefas e pelas qualificações e competências do pessoal. A este propósito Dhillon e Liu (2006) apresentam um trabalho de revisão dos erros Humanos em manutenção e Carr e Christer (2003) incorporam esses erros nos modelos de manutenção.

1.4.3 – As práticas de gestão

Em primeiro lugar interessa referir que a palavra gestão só faz sentido usar quando pelo menos se reconhece existirem funções que dizem respeito ao planeamento, à organização, à motivação, ao controlo e, finalmente, aos resultados. Drucker (2005) descreve-a como um mecanismo multi-dimensional que visa a gestão da empresa, dos gestores e do trabalho e elenca-a em três diferentes níveis distintos: A gestão superior a gestão intermédia e a gestão do primeiro nível. As três funções principais da gestão são:

- A gestão da empresa;
- A gestão dos gestores;
- A gestão dos trabalhadores e do trabalho.

A figura 1.10 apresenta a hierárquia dos diferentes níveis de responsabilidade.

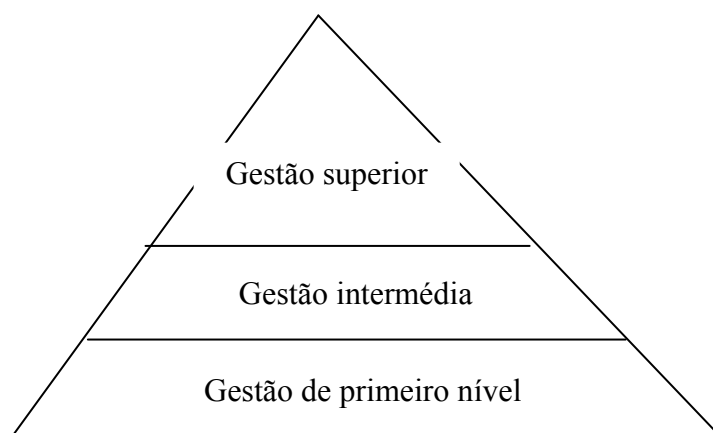


Fig. 1.10 – Diferentes níveis de gestão

A gestão de uma empresa ou de determinada actividade obedece a um conjunto de normas e de critérios todas convergentes num ponto que corresponde à excelência do serviço prestado aos seus clientes e à adequada remuneração do(s) accionista(s) pela exposição do investimento do seu capital. Neste sentido Kanter (1994) refere-se até às alianças entre empresas. Há que atender também à especificidade do sector da actividade onde a empresa se insere mas, em termos conceptuais, não existirá qualquer diferença de fundo que ponha em causa o que atrás ficou referenciado. As boas práticas de gestão devem assentar, basicamente, segundo Gaspar (2003) em cinco vértices:

- O processo de inovação que deve ser constante;
- O suporte do processo de inovação;
- O grau de qualificação dos seus colaboradores;
- A distinção entre os custos operacionais ou de exploração e os custos relativos aos investimentos;
- A avaliação de competências e a avaliação do desempenho dos colaboradores.

Relativamente ao primeiro vértice a gestão empresarial deve posicionar-se, constantemente, numa postura de inovação. Desta decorrem duas situações importantes: inovando o(s) empresário(s) estão sempre um passo à frente da sua concorrência o que implica deter os chamados “ganhos de monopólio de inovação”, isto é, enquanto ela perdurar o(s) empresário(s) detêm o monopólio desse produto ou serviço o qual deverá

levar à optimização dos ganhos. Por outro lado, a inovação, conduz a ganhos de quota de mercado e, sobretudo, a uma maior visibilidade do produto perante os seus concorrentes e clientes posicionando-o em termos futuros numa invejada situação.

O segundo vértice é o suporte de todo o processo de inovação. Ao dotar a empresa de soluções tecnológicas modernas e optimizadas do processo produtivo, o gestor vai conferir um superior grau de produtividade à actividade juntando desta forma mais uma importante arma a todo o arsenal ao seu alcance. Não pode deixar de referir que a inovação deve contemplar um desejado nível do *back-office* tecnológico que acompanhe e se ajuste às permanentes mutações e solicitações operacionais e do mercado.

Para que a empresa seja *leader* na forma como trabalha, dirige e como desenvolve toda a informação relativa à sua actividade deverá estar ao nível da “excelência” no que diz respeito à eficiência e à eficácia das *performances* desejadas incluindo, naturalmente, a conta da demonstração dos resultados.

O terceiro vértice é de capital importância em todo o processo para uma correcta gestão. Não é possível oferecer bons produtos ou serviços se o nível de qualificação dos colaboradores da empresa não estiver, claramente, acima da média da concorrência. Sabe-se que um dos factores que concorre, de forma acentuada, para os níveis de produtividade, é o grau de qualificação dos colaboradores. Nesse sentido uma boa gestão deve certificar-se de que dispõe dos melhores e dos mais qualificados colaboradores mas também proporcionar formação dentro e fora da empresa. Nesta perspectiva é um erro dissociar-se a “Empresa” da “Universidade”, como geralmente acontece no nosso país, pois surgem todos os dias novos conceitos, ideias, e abordagens que têm como *fórum* próprio a Universidade para o debate e o aprofundamento. Daí que Brilman (2000) refira que uma boa gestão deve estar em permanente ligação com as Instituições e possibilitem aos seus colaboradores a frequência de acções de formação e de cursos que serão, mais tarde, uma mais valia para o seu desempenho na empresa.

O quarto vértice diz respeito à distinção entre o que é um custo operacional ou de exploração e o de investimento. Dentro dos custos devem ser isolados os que decorram de uma componente orgânica daqueles que correspondam a custos sociais. A gestão de topo normalmente pressionada pelos objectivos do(s) accionista(s) tem, geralmente, a

tendência de considerar como um custo todo o investimento que ultrapasse o seu plano estratégico e que normalmente possa coincidir com o final do seu mandato. Assim, o investimento que seja diferido além desse prazo é considerado como um custo e, como tal, deve ser cortado. Este tipo de decisões vão contrariar todos os princípios de gestão estratégica e irão afectar seguramente, no futuro, o posicionamento da empresa relativamente à concorrência. No que concerne à classificação dos custos propriamente ditos há a considerar os custos orgânicos onde uma política de rigor e de controlo tem de estar sempre presente e, por outro lado, os custos sociais cujo suprimento deve ser muito bem equacionado numa perspectiva de onde, de quando e quem é atingido. A falta de sensibilidade nesta área poderá comprometer seriamente a estratégia da empresa e o compromisso dos seus colaboradores com metas que lhe foram definidas.

O quinto vértice é geralmente aquele em que grande parte das empresas em Portugal falha! Na esmagadora maioria confunde-se avaliação de desempenho com a avaliação das competências dos colaboradores. A avaliação de desempenho resume-se, normalmente, ao grau de cumprimento dos objectivos que foram definidos e que de forma muito subjectiva (variando de avaliador para avaliador dentro da mesma empresa) conduz a uma apreciação do mérito. Com estes parâmetros esquece-se a verdadeira avaliação de competências e a dimensão que a mesma deveria projectar. Que competências são reconhecidas além daquelas a que se é chamado todos os dias a demonstrar por inerência das funções que exerce? Não poderia o mesmo colaborador ser bem mais importante para a empresa numa outra função mas, para a qual, a empresa não identificou as suas competências? Existirão diversos factores que têm inibido as empresas de fazer uma justificada avaliação de competência. Esses factores são de ordem organizacional, de posicionamento estratégico e outros que apontam para matrizes de influência sobrepondo-se, muitas vezes, a influência à competência.

A actividade da manutenção industrial e a sua gestão deve ser vista como um processo que insere a temática atrás descrita: Actualizar e inovar a qualidade dos materiais e equipamentos; a forma de gerir as peças e os equipamentos; as operações e o diagnóstico das falhas; sustentar o processo de actualização e inovação através de sistemas de informação; promover junto dos colaboradores internos e externos a formação geral, específica e o treino; gerir as competências; planear, orçamentar e controlar a actividade da manutenção corrente e do plano de melhorias; o modelo de

organização, os custos e a obtenção de resultados. Assim, Kelly (1997) define a gestão da manutenção como a orientação e a organização dos recursos de modo a que a disponibilidade e o desempenho dos equipamentos de uma instalação industrial seja controlada a determinado nível. Também Roy (1998) reporta que os sistemas informatizados de suporte à gestão da manutenção são um recurso e um meio centralizado de acesso à informação sobre os equipamentos, aos pedidos de trabalhos, à manutenção preventiva e ao histórico das avarias; às reservas e à aquisição de materiais, componentes e equipamentos; às instruções técnico-económicas operacionais; ao orçamento e ao controlo de custos. Vários são os autores nacionais, tais como Pinto (1994), Pereira (1996), Sena (2001), Pinto C. V. (2002), Assis (2004), Cabral (2004) e estrangeiros como Mann (1983), Blanchard (1986), Kelly (1989), Monchy (1989), Souris (1992), Detragiache (1994), Niebel (1994), Patton (1994), Campbell (1995), Kelly (1997), Kelly e Harris (1998), Pintelon e Puyvelde (1999a), File (1991), Michael (1997), Knapp e Mann (1998), Tsang (1998), Wiseman (2000) e Wireman (2004), entre outros, que apresentam diferentes abordagens na área da gestão da manutenção industrial com um denominador comum centrado na inovação incremental da gestão técnica, económica e comportamental suportada pelas qualificações do *back-office* e do *front-office* conducentes à melhoria contínua da fiabilidade operacional.

Tsang (2002) considera duas das quatro principais dimensões estratégicas da gestão da manutenção referidas no sub-capítulo 1.3 como as relacionadas com os processos internos da gestão da manutenção. Sherwin (2000) faz uma revisão geral aos modelos de gestão da manutenção. Levitt (1998) faz referência à relação entre a manutenção e a Internet. Outros autores, como Jardine (1979), propõem conceitos de gestão da manutenção e de avaliação e melhoria da *performance* dos equipamentos baseados em diferentes cenários de inspecção, de substituição, de revisão, de reparação e sobre a estrutura organizacional da manutenção de forma a otimizar os custos operacionais. Estes conceitos podem enquadrar-se numa perspectiva da gestão pelo valor - *value management* e da gestão pelo risco - *risk management*. Pereira (1996) refere-se em particular os modelos matemáticos da gestão de peças de reserva e da renovação de equipamentos que mais se têm aplicado à função manutenção nas empresas. Urwin *et al* (1998) apresenta um caso na indústria química de um ciclo de vida de 20 anos de bombas centrífugas em que os custos de investimento (aquisição e montagem) só representam 29% do LCC - *life cycle cost*.

Banjevic *et al* (2003) na Web site www.sciencedirect.com/science acedido em 16.02.05 apresentam, através de um caso de estudo, um modelo de optimização da política de substituição (gestão) de equipamentos industriais com componentes monitorizados através da medição da vibração a que estão sujeitos.

Jardine, Makis, Banjevic, Braticevic e Ennis (1998) referem um modelo de decisão baseado na condição do equipamento para optimização da manutenção. Este modelo tem por base os riscos proporcionais - *Proportional Hazard Model* usando a distribuição estatística de Walodi Weibull descoberta em 1951 que é hoje uma das mais utilizadas, entre as demais, nos estudos de fiabilidade de equipamentos e que permitiu, devido á sua versatilidade, facilitar a modelação da sua gestão.

Kececioglu (1995) refere a importância de se encontrar um programa (plano) de manutenção que minimize o custo, pelo que considera que o método mais eficiente para otimizar as decisões de revisão geral, de reparação ou de substituição é com o recurso a técnicas de programação dinâmicas. Grafnhete (1996) considera a manutenção preventiva como um factor chave na produtividade e na cadeia logística. Wiseman (2000) refere também a importância do *e-business* na gestão dos activos físicos.

1.5 – As filosofias e os modelos que visam a fiabilidade operacional

A fiabilidade é caracterizada por Pereira (1996) como a capacidade de um “bem” desempenhar a sua função específica em condições definidas e por um período de tempo determinado. A norma europeia NF EN 13306, de Junho de 2001, define fiabilidade como a aptidão de um “bem” cumprir a função requerida, em condições conhecidas, durante um determinado período de tempo. Ireson *et al* (1998) refere, para além da quantificação do tempo, a possibilidade da contagem em termos dos ciclos de funcionamento ou de acontecimentos. Lewis (1987) considera também, para além da dependência da fiabilidade ser uma função do tempo, o conceito de carga e de capacidade dos equipamentos bem como as suas relações com a fiabilidade através do chamado factor de segurança. Assim, têm sido desenvolvidas ao longo do tempo filosofias e modelos que visam melhorar e manter a fiabilidade dos equipamentos produtivos de entre as quais se destacam as que a seguir se apresentam.

1.5.1 – As principais filosofias e metodologias para a melhoria da fiabilidade operacional

Apresentam-se neste subcapítulo as filosofias RCM – *Reliability Centered Manintenance*; TPM – *Total Productive Maintenance*; RAMS – *Reliability, Availability, Maintainability and Safety*; ROM – *Results Oriented Maintenance* e OEE – *Overall Equipment Effectiveness*. As filosofias referidas são suportadas por metodologias e técnicas tais como a CBM – *Condition Based Maintenance*, a RBI – *Reliability Based Inspection*, DOM – *Design-Out Maintenance*, FBM – *Failure Based Maintenance* e a UBM/TBM – *Use or Time Based Maintenance*. Canuto (2004) refere os problemas organizacionais comuns na implementação das filosofias de manutenção.

1.5.1.1 – RCM – *Reliability Centered Maintenance*

Investigações relativamente recentes alteraram a classificação tradicional dos padrões das avarias dos diferentes tipos de equipamentos. Segundo Moubray (1997) a taxa de avarias em bastantes tipos de equipamentos não está relacionada com a idade. Para Leite (1998) a distribuição das avarias diferem, também, de indústria para indústria. Moubray (1997) define formalmente a RCM como um processo que permite determinar as acções (tarefas) de manutenção requeridas por cada um dos componentes de um equipamento no contexto operacional aonde opera considerando tarefas programadas de localização de falha (estimadas entre 30% a 40%) quando não são possíveis detectar através de acções preditivas. O RCM, desenvolvido nos E. U. A. e escrito por Nowlan e Heap (1978), é aplicado para determinar o que deve ser feito, ou não, para se assegurar que qualquer componente cumpra as suas funções distingue-se assim do conceito tradicional devido ao facto de estes tratarem da preservação física dos bens (activos) e a visão RCM da preservação das suas funções. Através do diagrama de decisão usado nesta filosofia é possível obter maior segurança e protecção ambiental; melhor desempenho operacional (quantidade, qualidade do produto e serviço ao cliente); maior efectividade do custo de manutenção (reduz os trabalhos de rotina em cerca de 40 a 70%); ciclo de vida mais prolongada dos equipamentos mais dispendiosos; fornece uma visão mais clara das competências e habilidades necessárias para a manutenção de cada activo e decidir quais as partes de equipamentos (sobressalentes) de por serem críticos devem permanecer em stock ou disponíveis para utilização.

Canuto (2002) desenvolve uma aplicação da RCM, a RCM2, numa indústria de celulose em Portugal, Sena (2001) considera, entre outros autores, que a RCM - *Reliability Centered Maintenance* tendo como referência Moubray (1996) e a TPM - *Total Productive Maintenance* definida por Suzuki (1995) são filosofias a considerar e a integrar nos sectores económicos industriais e dos serviços. Ben-Daya (2000) considera a necessidade do RCM para a implementação do TPM. Finalmente o RCM também contribui para o trabalho em equipa e, consequentemente para a motivação das pessoas intervenientes no processo.

1.5.1.2 – TPM - *Total Productive Maintenance*

O TPM é uma filosofia que segundo Kimura (1994) se baseia em actividades de manutenção da produção e envolve a participação de todos. O TPM assenta na prevenção e tem como objectivo “zero defeitos”. A prevenção, segundo Amaral (2000), tem o seguinte significado:

- Manter a regularidade;
- A detecção precoce das irregularidades;
- Prevenir a deteoração;
- Perseguir as causas das falhas em vez de gerir as consequências.

Nakajima (1989) compara o TPM, praticado no Japão, com a terotecnologia desenvolvida em Inglaterra e a logística envolvida considerada nos E. U. A. porque todas elas adoptam o conceito de custo do ciclo de vida (LCC – Life Cycle Cost) dos equipamentos como denominador comum. Na Web site www.plant-maintenance.com acedida em 2005 é considerada a comparação entre o TQM – *Total Quality Management* com o TPM desenvolvido no Japão por volta de 1950 onde os operadores começaram a ser envolvidos no processo de manutenção. Estas equipas praticam os chamados “5 S”: Seiri (organização), seiton (ordem), seiso (limpeza), seiketsu (normalização) e shitsuke (disciplina).

O TPM assenta também na chamada manutenção autónoma, nas pequenas melhorias (kaizen), na manutenção planeada para reduzir as quebras de produção, na melhoria da fiabilidade e manutenibilidade, na redução dos custos, na qualidade da manutenção

através da transição do controlo de qualidade para a chamada garantia da qualidade, no treino e na multivalência dos intervenientes no processo, como suporte da segurança, ao apoio médico e protecção ambiental e, finalmente, um serviço especializado de TPM. Sena (2001) cita More e Rath (1998) numa experiência na indústria automóvel em que se faz a combinação do TPM com o RCM permitindo a melhoria do processo através da maior cooperação entre as funções produção e manutenção para a melhoria da disponibilidade dos equipamentos e, conseqüentemente, a redução dos custos operacionais.

1.5.1.3 – RAMS - *Reliability, Availability, Maintainability and Safety*

A eficiência dos equipamentos e das instalações é obtida pela maximização e articulação da compatibilidade entre os programas de produção e de manutenção a par da execução de alterações pontuais que eliminem pontos fracos e introduzam melhorias nos sistemas que reduzam a influência da manutenção sobre a produção. É esta articulação que transparece na gestão do ciclo de vida - *Life Cycle Cost* dos equipamentos como um indicador que inclui parcelas decorrentes das características intrínsecas dos equipamentos e definidas na fase de projecto e parcelas decorrentes da exploração que, em conjunto com as anteriores, irão ditar a fiabilidade real do sistema. Por isso não basta possuir equipamentos fiáveis para obter elevados índices de disponibilidade visto que se a manutenibilidade do equipamento não for adequada ou a logística não ser eficaz, os resultados finais serão fortemente afectados. A dependabilidade ou RAMS, segundo a ISO 9000-4/IEC 300-1 e de acordo com Villemeur (1992), integra as actividades associadas à fiabilidade, manutenibilidade, disponibilidade e segurança desde a concepção, *design*, fabricação, instalação, operação e manutenção até ao fim de vida. Para conseguir o aumento da *performance* dos equipamentos há que garantir uma ligação activa entre a operação e a manutenção para potenciar a maximização da disponibilidade que a ESA classifica em inerente e operacional ou através da minimização do custo do ciclo de vida (LCC). Esta articulação é possível pela partilha de informação, o que pressupõe que ela existe. Por ser cada vez mais determinante garantir a disponibilidade nas instalações e equipamentos tem-se assistido à aplicação desta filosofia nas tecnologias aeroespaciais, nos transportes e em alguns domínios industriais. Craveiro (2000) refere que a aplicação de técnicas RAMS – *Reliability, Availability, Maintainability and Safety* vão

começando a ser requeridas, porquanto a utilização dos equipamentos e instalações em funcionamento passam, necessariamente, por uma estratégia racionalizada de inspecções e intervenções de manutenção, baseadas em metodologias credíveis e critérios testados, que permitam avaliar a segurança e a disponibilidade. A implementação destas metodologias exigem algum rigor no tratamento da informação e, sobretudo, requerem uma base de normalização que permita uma aproximação comum, ou seja é fundamental que hajam critérios de estruturação e hierarquização de equipamentos para uma abordagem coerente independentemente. Segundo Guimarães (1999) a aplicação da RAMS tem-se verificado em três contextos específicos: Nos de aplicação geral, na produção de energia através de reactores nucleares e na segurança naval. Barringer (1997) altera a designação de RAMS para RAMC ao modificar a sigla *safety* por *capability* e, por isso, introduz também o conceito de eficiência definida pelas diferentes formas por Blanchard *et al* (1995), Kececioglu (1995), Landers (1996), Pecht (1995) e, finalmente, por Berger *et al* (1993).

1.5.1.4 – OEE – *Overall Equipment Effectiveness*

O OEE, segundo Marita *et al* (1998) da SCEMM – *Scandinavian Center for Maintenance Management*, usa uma metodologia que visa medir conjuntamente a disponibilidade (A) calculada através dos tempos de funcionamento dos equipamentos para produzir e os de paragem, a eficiência (P') como a relação entre os ritmos de produção conseguida e a máxima possível e, finalmente, a qualidade (Q) através da relação entre a conseguida nos produtos processados e a qualidade especificada. A quantidade de produção é determinada através da expressão apresentada em 1.1.

$$\text{Quantidade produzida} = \text{Produção teórica} \times (A \times P' \times Q) \quad (1.1)$$

Jeong e Phillips (2001) consideram que o OEE deve estar presente nas indústrias de capital intensivo onde normalmente se consideram as análises das perdas de produção.

Na Web site www.en.wikipedia.org é apresentado o cálculo de OEE (%) através da multiplicação da disponibilidade pela razão da performance (%) e da qualidade (%).

1.5.1.5 – ROM – *Results Oriented Maintenance*

O ROMTM *Management* é, segundo a IDCON, Inc. – *Maintenance Management Consultants*, uma filosofia desenvolvida pelo seu presidente C. Idhammar durante os 36 anos de carreira e tem sido aplicada em processos de fabricação tais como os da produção de pasta para papel e papel, alimentação, automóvel, refinarias e na produção do aço. O ROM tem como suporte os vários indicadores de desempenho (*key performance indicators*) e os indicadores de resultados (*result indicators*). O ROM recorre a várias práticas de gestão e compara os resultados obtidos com os chamados de classe mundial (*world classe maintenance indicators*). Os resultados obtidos dizem respeito à eficiência dos equipamentos (*overall equipment efficiency*) e aos custos de manutenção por unidade de produto conduzindo, assim, a métricas e a indicadores de produtividade adiante referidos no subcapítulo 2.3.2 bem como a aspectos de competitividade. Alguns dos indicadores atrás referidos são apresentados no quadro 1.3.

Quadro 1.3 – Alguns indicadores de eficiência

<i>Performance</i> da gestão	<i>Performance</i> da execução
% de trabalhos planeados	Nível de execução
% de programação	Nível de execução
<i>Backlog</i>	Número de horas
% de horas extras	% de trabalhos repetitivos
Nº de melhorias	Nível de vibração
Nº horas contratadas	Garantia de fiabilidade
Custos de manutenção	<i>Right part first time</i>

Baseado na filosofia ROM e também de acordo com Idhammar (1997), Armstrong (2006) considera a fiabilidade operacional suportada também pela gestão dos sobressalentes e dos materiais – *Reliability-focused Spare Parts & Materials Management*. Esta metodologia considera relevante a interpenetração dos compradores com os preparadores e planeadores dos trabalhos de manutenção; as decisões da existência ou não de *stock* de materiais em armazém; quais os materiais e que equipamentos podem e(ou) devem ser considerados reparáveis e considera também a(s) possibilidade(s) do recurso ao *outsourcing* de materiais e(ou) equipamentos.

1.5.1.6 – CBM – *Condition-based Maintenance*

A manutenção baseada na condição é uma metodologia alternativa à manutenção sistemática que se suporta na medição, interpretação e diagnóstico do nível de degradação dos componentes dos sistemas. Amari (2004) em www.relex.com acedido em 2006 refere que depois das investigações efectuadas na United Airlines e na U. S. Navy se verificou que só entre 3% a 4% das falhas dos equipamentos seguiam o tradicional processo da “curva da banheira”; 15% a 20% relacionavam-se com a idade (tempo) e que eram aleatórias entre 80% a 85% das falhas. Assim, a metodologia de manutenção baseada no tempo – *Time-based Maintenance* é posta em causa e surgem os sistemas de monitorização referidos por Thorstensen e Rasmussen (1999). A CBM – *Condition-based Maintenance* analisa os processos de degradação dos materiais e, por isso, é um processo determinístico ao contrário dos modelos estocásticos que se caracterizam pelos modelos pontuais em função do tempo. A CBM suportada em técnicas de detecção e diagnóstico das falhas permite atingir importantes ganhos de produtividade da actividade operacional, assim como preparar e planear os trabalhos de manutenção e, consequentemente, reduzir os custos operacionais. Esta técnica de avaliação da condição, a exemplo da análise de vibrações e da termografia, é hoje completamente aceite para os modos de falha que se desenvolvem ao longo do tempo e que se identificam com curva P-F que a filosofia RCM apresenta. Segundo vários autores uma das desvantagens destas técnicas é a de requererem elevado nível de especialização e treino para a sua correcta aplicação. Bengtsson (2004) apresenta uma revista às propostas de standardização promovidas pelas organizações MIMOSA – *Machine Information Management Open Systems Alliances* e OSA-CBM – *Open System Architecture for Condition Based Maintenance* e através das publicações da IEEE – *Institute of Electrical and Electronics Engineers* std 1451, 1232 e ISO 13373-1.

1.5.1.7 – RBI – *Risk Based Inspection*

A inspecção baseada no risco (RBI) enquadra-se na manutenção em função da condição e aplica-se, de acordo com a Web site www.corrosion-doctr.org visitado em 2006, à família dos equipamentos estáticos para avaliar o seu estado através de técnicas não destrutivas. A Web site www.staehleconsulting.com acedida em 2007 refere que duas organizações Americanas trabalham neste tipo de manutenção na indústria química: A

American Society of Mechanical Engineers (ASME) e a American Petroleum Institute (API). Em geral a bibliografia na área da fiabilidade dos equipamentos refere, normalmente, a probabilidade associada à falha (avaria) mas não caracteriza, tal como se apresenta na figura 1.11, o(s) risco(s) devido(s) aos seus efeitos e consequências.

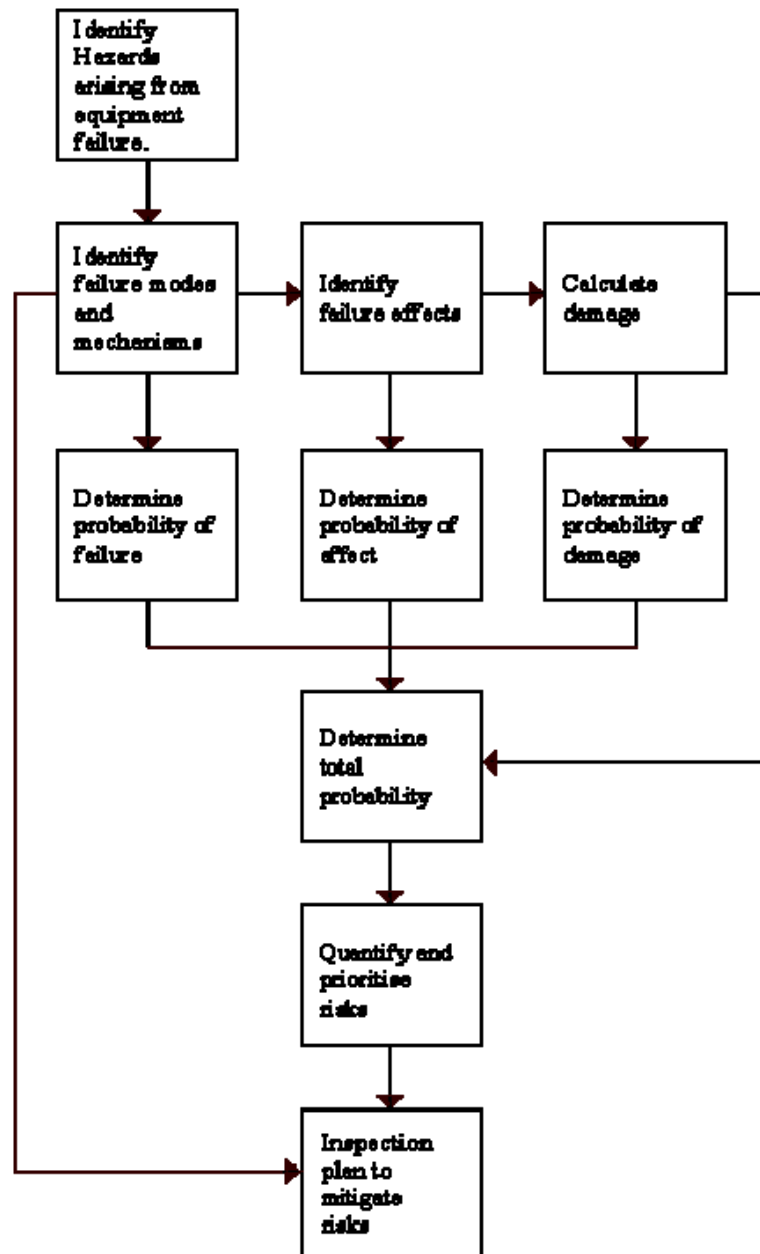


Fig. 1.11 – Quantificação dos riscos associados às falhas dos equipamentos

Newby e Dagg (2002) apresentam a optimização da inspecção a diferentes famílias de equipamentos na presença de covariáveis.

No contexto do RBI refere-se o ISQ - Instituto (Português) de Soldadura e Qualidade que no passado recente desenvolveu nesta área os seguintes projectos de *I&D*:

- HIDA - *Probabilist and sensivity of crack assements in high temperature plant*;
- SITAF - Sistema integrado de avaliação da fiabilidade das instalações industriais;
- FAILURE - Metodologia de Análise de Falhas de Fenómenos de corrosão fissurante em unidades industriais;
- RIMAP II - *Risk based inspection and maintenance for EU industry*;
- METHOD - *Methodology for analysis of corrosion failure in Maintenance of industrial plant*.

Por outro lado o autor atrás citado refere que o risco é um conceito que permite antecipar potenciais incidentes tendo em conta a probabilidade de falha (LOF) e as consequências duma falha (COF), pelo que a inspecção baseada no risco (RBI) é uma ferramenta sistemática que apoia os utilizadores na tomada decisões relativas às necessidades e aos custos de inspecção e manutenção. Neste contexto Dias Lopes e Cruz (2003) do ISQ apresenta uma metodologia de decisão através de fluxos de informação para a gestão da vida dos equipamentos. O autor atrás citado, conjuntamente com outros, apresenta ainda vários trabalhos relacionados com a problemática dos materiais e a avaliação da sua vida restante (AVR) associada à possibilidade da exploração das instalações para além da vida de projecto, nomeadamente em tubos de geradores de vapor vulgarmente designados por caldeiras (equipamentos estáticos). Mierzwa e Brongers (2002) apresentam um caso prático na indústria da produção da pasta para papel relativo à utilização de materiais inicialmente mais caros (aquisição) mas muito mais resistentes à corrosão. Cross (2001) refere a importância a atribuir à gestão do risco com a segurança das pessoas e das instalações.

1.5.2 – Os principais modelos no estudo da fiabilidade dos sistemas

Os modelos pretendem alcançar uma representação idealizada e mais ou menos simplificada de uma realidade. Segundo Pereira (1996) um modelo de fiabilidade é determinado por um número de premissas sobre as avarias dos componentes do equipamento (sistema) em estudo que tomadas em conjunto formam o modelo em que o cálculo da fiabilidade se baseia. Refere-se Ferreira *et al* (1996a) entre outros autores que consideram relevantes em determinadas situações os modelos não paramétricos ou semi-paramétricos, como por exemplo o modelo dos riscos proporcionais (PHM), por não ser imposta, à partida, qualquer tipo de distribuição de probabilidade estatística para o estudo da fiabilidade. Os métodos usados nos modelos podem ser determinísticos ou estocásticos. Nestes últimos o processo baseia-se em acontecimentos probabilísticos, enquanto nos primeiros não é usada nenhuma informação probabilística. Ascher e Feingold (1984) consideram a importância do estudo da fiabilidade dos sistemas reparáveis que devem ser entendidos à partida como um conjunto mais ou menos complexo de componentes, com o objectivo de cumprir uma determinada função em condições previamente estabelecidas e quando avariam, podem ser reparados por qualquer método que não inclua a substituição total do sistema. Segundo Cassady *et al* (2001b) as acções de manutenção em sistemas reparáveis podem ser correctivas (curativas) e preventivas.

1.5.2.1 – Os modelos paramétricos

Segundo Leitão (1989) o campo da fiabilidade como ciência teve origem nos últimos 35 anos tendo sido a necessidade do desenvolvimento tecnológico dos sistemas (equipamentos) os seu principal impulsionador. A fiabilidade é definida por Pereira (1996) e por outros autores como a capacidade de um “bem” desempenhar a sua função específica em condições definidas e por um período de tempo determinado. Matematicamente a função fiabilidade, representada por $R(t)$ na expressão 1.2, é expressa através de uma probabilidade do “bem” não falhar (avarar) num dado período de tempo e a probabilidade de falha (avaria) é representada por $F(t)$.

$$R(t) = 1 - F(t) \quad (1.2)$$

Interessam estudar os casos em que a fiabilidade dos equipamentos é menor do que a esperada e por consequência quando a taxa de avarias toma uma tendência crescente ou, ainda, quando aquela se mantém aproximadamente constante ao longo do tempo e se pretendem melhorias operacionais à custa da fiabilidade dos equipamentos.

A bibliografia analisada refere, de uma forma geral, aos aspectos relacionados com a análise da fiabilidade dos componentes dos equipamentos baseando-se em estudos estatísticos sequenciais das falhas (avarias) em vários equipamentos semelhantes a funcionar em simultâneo e em condições semelhantes durante um determinado período de tempo. Uma das distribuições estatísticas mais utilizadas é a distribuição de Weibull, apresentada na figura 1.12, devido à sua versatilidade e à possibilidade da aproximação a outras distribuições, nomeadamente à exponencial negativa e à normal, através da variação do chamado factor de forma β .

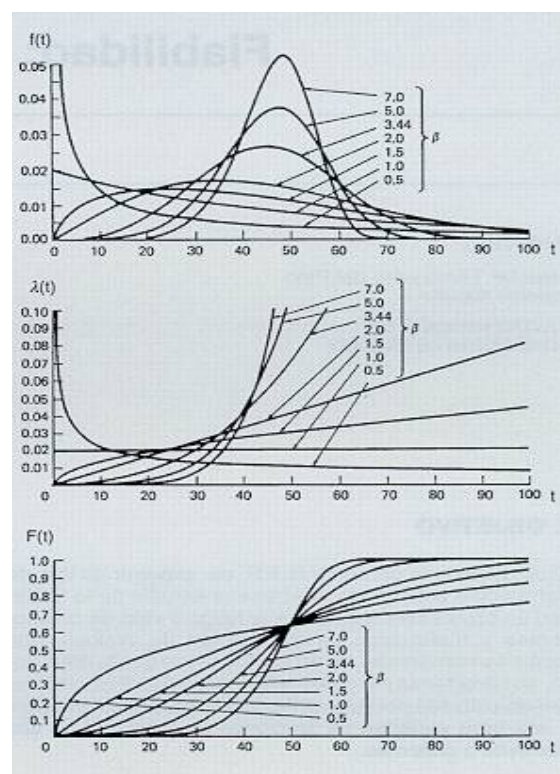


Fig. 1.12 – A versatilidade da distribuição de Weibull em função de β

Verifica-se que a distribuição de Weibull conjuntamente com a distribuição exponencial negativa têm grande aplicação prática na experimentação da fiabilidade dos sistemas devido à sua flexibilidade, modelação e à facilidade de utilização.

Na literatura é frequente usar-se $f(t)$ para representar a função de densidade. $F(t)$ representa a função de probabilidade ou função de distribuição acumulada e $R(t)$ a fiabilidade do sistema. Assim, a função de densidade de probabilidade caracteriza-se por poder representar três funções de risco: decrescente, constante e crescente. A taxa de avarias é designada por λ quando a função de risco for aproximadamente constante.

A distribuição de Weibull é amplamente usada na prática do ensino da engenharia sobretudo devido à descrição de fenómenos de vida de componentes de equipamentos (sistemas) ao longo do seu ciclo de vida. A função de densidade $f(t)$ desta distribuição é apresentada em 1.3 e a distribuição acumulada de probabilidade de falhas é dada pela expressão 1.4.

$$f(t) = \beta/\eta(t/\eta)^{\beta-1} \exp[-(t/\eta)^\beta] \quad (1.3); \quad F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \quad (1.4)$$

A função $F(t)$ pode ser registada em papel gráfico do tipo apresentado na figura 1.13.

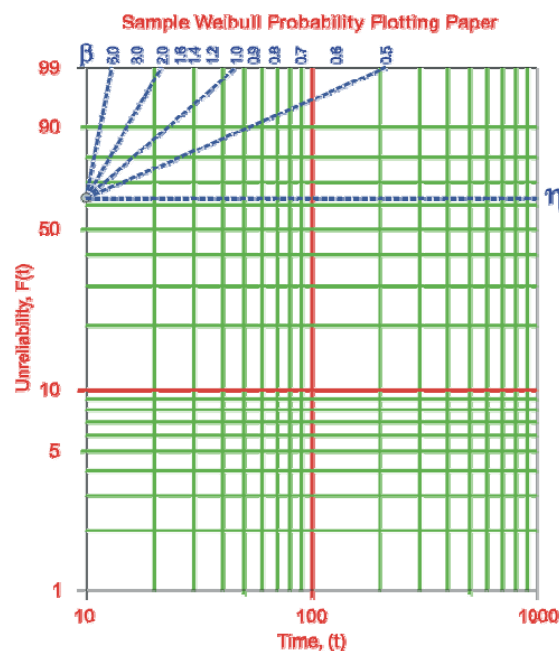


Fig. 1.13 – Papel para o registo gráfico das falhas acumuladas

β representa o parâmetro de forma e quando o seu valor aumenta a moda da distribuição desloca-se progressivamente. η representa o parâmetro de escala e, neste caso, caracteriza a chamada vida característica do componente.

O risco de avaria é agora uma função do valor de β sendo apresentado por Grothus (2003), em www.dr-horst-grothus.de/aq_schadnorm_en.htm acedido em 2006, os seus diferentes valores característicos para os vários tipos de defeito, ou modos de falha, dos componentes onde se observaram valores compreendidos entre 1 e 3 unidades (valores superiores a uma unidade representam uma função de risco de avaria crescente).

A modelação da fiabilidade $R(t)$ dum sistema caracterizado através desta distribuição pode ser calculado através da expressão 1.5.

$$R(t) = \exp (-t/\eta)^\beta \quad (1.5)$$

A distribuição exponencial constitui um caso particular da distribuição de Weibull e uma das características principais desta distribuição é a função de risco 1.6 ser constante ($h(t) = \text{constante}$) e igual à taxa de avarias λ .

$$h(t) = f(t) / s(t) = \lambda \exp(-\lambda t) / \exp(-\lambda t) \quad ; \quad h(t) = \lambda \quad (1.6)$$

Esta distribuição adequa-se, também, à representação da vida esperada de sistemas sendo a função de densidade desta distribuição $f(t)$ representada em 1.7.

$$f(t) = \lambda . e^{-\lambda t} \quad (1.7)$$

Onde $f(t)$ representa a probabilidade da falha e λ representa a taxa de falhas (avarias). A função de distribuição acumulada $F(t)$ calcula-se através da integração da expressão (21) no intervalo $[0, t]$, é apresentada em 1.8.

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t} \quad (1.8)$$

Neste caso a fiabilidade é calculada através da expressão 1.9.

$$R(t) = 1 - F(t) = \exp (-\lambda t) \quad (1.9)$$

1.5.2.2 – Os modelos não paramétricos

Pereira (1996) considera que o estudo da fiabilidade pode ser efectuado de várias formas havendo a tendência, que começa a ser contrariada, para tratar apenas os modelos estatísticos paramétricos. Quando se pretende analisar a influência de várias covariáveis e as técnicas dos processos pontuais não são aplicáveis é necessário, segundo Leitão (1989), utilizar um tipo de análise de regressão que forneça uma função de distribuição de base para o sistema. De acordo com Ferreira *et al* (1996) os modelos que não impõem à partida qualquer tipo de distribuição estatística, a exemplo do PHM - *Proportional Hazard Model*, são designados de não paramétricos ou de semi-paramétricos. Segundo Pereira (1996b), o PHM sendo um modelo estatístico com características particulares é muitas vezes preterido relativamente aos modelos puramente paramétricos e estatísticos devido à maior facilidade na aplicação destes. O modelo dos riscos proporcionais foi apresentado por Cox (1972) e tem sido mais utilizado na área da medicina no entanto, já naquela época, o autor atrás citado referiu as potencialidades da sua aplicação ao domínio da engenharia da fiabilidade e da análise de sobrevivência dos materiais. As tabelas de vida já eram, à época, uma das técnicas estatísticas mais utilizadas por Berkson e Gage (1950), Cutler e Ederer (1958) e, ainda, Gehan (1969). Contudo, Cox considerou que estava ainda insuficientemente analisada a teoria que lhes servia de base. Por isso, considerando que um artigo publicado por Kaplan e Meyer (1958) oferecia novos resultados entende-os de modo a poderem ser trabalhados com covariáveis na análise de vida ou de sobrevivência.

O PHM permite modelar os processos de Poisson homogéneos e não homogéneos não necessitando, neste caso, de acordo com Mendonça *et al* acedido em 2007b em www.xenofonte.demi.fct.unl.pt, do pressuposto i.i.d. (independentes e identicamente distribuídos). Os modelos estatísticos não paramétricos permitem inferir sobre a condição futura de um dado componente, sistema ou equipamento ou, ainda, com entidades semelhantes, como é o caso da aplicação do presente trabalho, através do cálculo de uma função própria caracterizadora da fiabilidade prevista, embora não explicitada algébricamente. Cox e Oakes (1984) referem-se às propriedades e à aplicação do PHM no caso de não se assumir, à partida, qualquer tipo de distribuição estatística e, por isso, torna-se possível analisar experimentalmente os dados de que se dispõe através de *software(s)* dedicados como o SAS, SPSS, BMDP e o Statistica.

Assim, torna-se possível determinar o estimador de máxima verosimilhança proposto por Breslow (1974) e determinar de entre as diferentes variáveis em análise quais são as mais significativas para a ocorrência do evento em estudo. Neste modelo é necessário identificar os factores que poderão ter um efeito significativo no tempo de vida de equipamento e, por isso, este é o seu objectivo de regressão. O peso que cada um dos factores em causa é expresso através dos coeficientes de regressão (β) que se pretendem determinar. O modelo analisa os dados referentes a tempos entre avarias e estima os efeitos das covariáveis na fiabilidade dos sistemas em estudo. O PHM é, assim, um modelo de regressão conforme se apresenta em 1.10.

$$h(t;Z) = h_0(t) \cdot e^{(Z\beta)} \quad (1.10)$$

Na expressão atrás apresentada $h_0(t)$ representa uma função de risco base arbitrária e não especificada; Z representa o vector linha das n covariáveis utilizadas e medidas; β representa o vector coluna dos n coeficientes de regressão e, finalmente, t representa o intervalo de tempo associado à avaria ou evento. A função fiabilidade ou de sobrevivência $R(t;Z)$ é apresentada em 1.11.

$$R(t;Z) = \exp \left[- \int_0^t h_0(u) \cdot e^{(Z\beta)} du \right] \quad (1.11)$$

A função condicional a reter por usar-se neste trabalho é apresentada através da expressão 1.12 para t dados os valores de Z e representa o efeito de potência das diferentes covariáveis consideradas na função de sobrevivência base $R_0(t)$.

$$R(t;Z) = [R_0(t)]^{e^{(Z\beta)}} \quad (1.12)$$

1.6 – Os principais modelos de decisão na gestão da manutenção

Tsang (2002) enfatiza as principais dimensões estratégicas da gestão da manutenção. A manutenção, de acordo com Johnston (2000), faz parte da empresa e da optimização dos activos. Levainen (2006) apresenta um estudo comparativo entre a Finlândia e a situação internacional no que diz respeito à aplicação de sistemas, de *softwares*, e de indicadores de desempenho na gestão da manutenção.

Em www.maintenanceworld.com acedido em 2005, Arenoso (2004) apresenta seis “leis” da mudança: Clientes & *Stakeholders*; produtos & mercado; processos do mercado; pessoas & cultura; organização e tecnologia. Também Moubrey (2003) em www.mt-online.com reflete 30 anos da sua experiência na área da gestão de activos produtivos e Aughenbaugh (2003a) refere a interpretação e a análise do *backlog* como uma importante ferramenta de gestão. Finalmente, O'Connor (1998) em www.pat-oconnor.co.uk/standards faz referências aos *standard's* da fiabilidade e segurança. Jardine (1979) e Mobley (1999), entre outros, apresentam diferentes tipos de decisão que visam melhorar as práticas de gestão da manutenção baseada em diferentes cenários de inspecção, de reparação e de substituição de equipamentos ou componentes e decisões relativas à estrutura organizacional da manutenção. Estes conceitos podem enquadrar-se nas prespectivas de valor (*value management*) e do risco (*risk management*). Mendes (2005) apresenta uma aplicação da teoria das filas de espera em estudos de optimização de equipas de manutenção. Kelly (1997) e Clamp (1996) classificam a acções de manutenção, de diferentes formas, em três níveis de actuação. Sena (2001) considera os modelos de decisão baseados na fiabilidade e nos custos desenvolvidos por Jardine (1979) e por Kececioglu (1995) e ainda refere Apolinário (1986) no que diz respeito aos custos de manutenção relativos à subcontratação. Martin (1997) faz uma classificação dos tipos de contratos de manutenção. Quinn e Hilmer (1994) e Campbel (1995) fazem referências à opção, ou não, pelo *outsourcing*. Sena (2001) faz também referência ao custo do ciclo de vida do equipamento (LCC) desde o projecto até à retirada de serviço e em individualiza-os em três componentes: o custo de investimento; o custo de manutenção e os custos de operação. Cuignet (2002) centra as estratégias de manutenção no volume de produção, nas despesas de manutenção, na rentabilidade dos capitais investidos e, finalmente, na evolução da cultura de gestão da manutenção. Levitt (1998), Lepree (2001) e Wiseman (2000), entre outros, reportam as oportunidades e os impactos da utilização da Internet no desempenho da actividade da manutenção. Neste trabalho interessam referir os modelos aplicáveis ao processo contínuo designado pelos anglo-saxónicos por *flow shop* já referido em 1.3.1. Entenda-se que na actividade da manutenção industrial aplicam-se, de acordo com Pereira (1996), modelos matemáticos que quantifiquem os aspectos organizacionais tais como a previsão dos tempos de espera, de reparação e o dimensionamento das equipas, assim como a gestão das peças e dos equipamentos de reserva em consequência das reparações e da renovação dos equipamentos.

1.6.1 - Modelos que visam minimizar os custos operacionais

Sena (2001) refere que a eficácia da manutenção em termos de “custo-benefício” deve integrar-se nos objectivos da empresa num modelo de manutenção adequado à sua situação real e estabelecido com uma clara definição de competências e responsabilidades. Pinto, C. V. (2002) refere Baldin e Furnaleto (1980) que estimam que os custos anuais de manutenção estão entre 3% a 5% do produto nacional bruto no conjunto dos chamados países industrializados. Os custos de manutenção são, tradicionalmente, classificados em directos e indirectos. O primeiro inclui os custos que derivam directamene das tarefas de manutenção sobre os equipamentos (mão de obra interna, materiais e serviços) e o segundo dizem respeito aos gerados pelas perdas de produção provenientes das paragens (indisponibilidade) em consequência de avarias ou de manutenção programada. Reddy *et al* (1996) referem-se à optimização dos custos de manutenção em equipamentos com risco de avaria crescente. São ainda considerados custos de manutenção os correspondentes à aquisição e posse dos materias em *stock* (materiais de consumo e peças ou equipamentos). O quadro 1.4 sintetiza as principais componentes dos custos de manutenção.

Quadro 1.4 – Principais componentes dos custos de manutenção

Custos directos:	Custos indirectos:
Mão-de-obra	Perdas de produção
Serviços pontuais	Material obsoleto
Contratos (serviços)	Taxa juro do capital imobilizado
Materiais	Formação & Treino
Peças e equipamentos	Seguros
Recuperações oficinais	Rearranque da produção
Energia	Transportes
Lubrificantes	Prémios
Gestão & engenharia	Sistemas de informação e gestão
Ferramentas	Penalizações
Administrativos	Certificações
Encargos legais	Prazos de entrega de produto
Encargos de armazenagem	Imagem de marca

Os custos da mão-de-obra, materiais, peças e equipamentos, recuperações oficinais, lubrificantes, ferramentas e o pessoal de gestão e engenharia são, normalmente, aqueles que mais oneram directamente a actividade da manutenção industrial. Por outro lado os custos relativos às perdas de produção são, também no caso particular da indústria de produção de pasta para papel, os de maior significado nos custos indirectos. Ferreira (1998) considera importante detectar um “nível de manutenção” que optimize os custos da avaria de um equipamento pois o aumento da despesa de manutenção nem sempre conduz na mesma proporção à redução dos tempos das paragens fortuitas. A figura 1.14 representa, por isso, a relação entre os custos directos de manutenção e os indirectos.

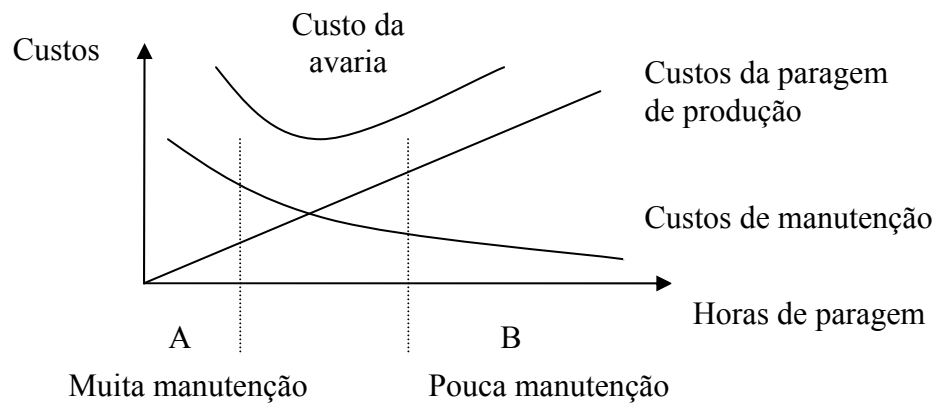


Fig. 1.14 – Níveis de manutenção A e B e os custos das avarias

Ferreira (1998), entre outros autores, consideram, ainda, a importância do custo de posse de um equipamento, conhecido por LCC – *Life Cycle Cost*, referido nos subcapítulos 1.5.1.2 e 1.5.1.3. A figura 1.15 apresenta uma simplificação da análise do LCC.

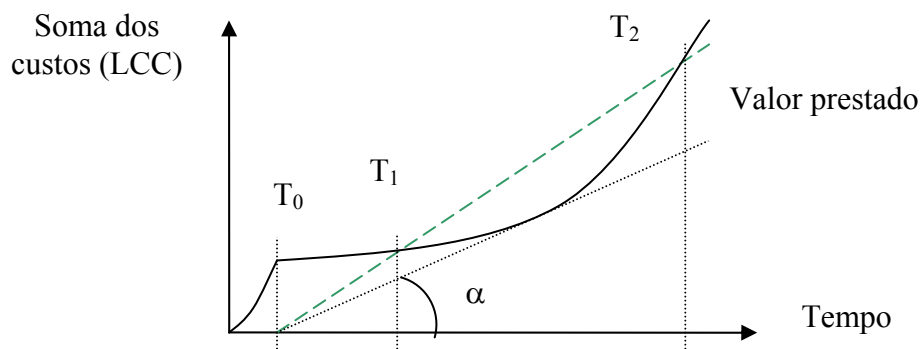


Fig. 1.15 – Simplificação da análise LCC

Na figura 1.15, T_0 , T_1 , e T_2 representam, respectivamente, os tempos de início de exploração, a exploração rendável e a deficitária. Segundo Monchy (1989) e (2003) o valor prestado pelo equipamento ou as receitas provenientes deste são sensivelmente constantes ao longo do tempo se os custos de funcionamento também forem. Assim sendo, o tempo de substituição apenas depende do valor da aquisição (investimento) e do somatório dos custos associados às avarias que também incluem os custos relativos às recuperações oficiais. A inclinação da recta (ângulo α) da figura 1.15 determina o tempo óptimo da substituição. Nos casos dos equipamentos ou dos componentes não possuírem viabilidade técnico-económica de recuperação no local; se o número de avarias por unidade de tempo for crescente; se os tempos aos quais os componentes dos equipamentos vão avariar não são conhecidos, como aqueles em que não é possível a utilização das técnicas de avaliação da condição (perspectiva determinística), mas se o histórico das ocorrências poderem ser representadas por uma distribuição de probabilidade deve-se efectuar a substituição preventiva antes da avaria ocorrer se forem verificados os seguintes pressupostos:

- O custo total envolvido na substituição preventiva (C_p) for menor que o custo total da substituição por avaria (C_f);
- Os componentes estão sujeitos a uma função de risco $h(t)$ crescente;
- Os tempos aos quais os equipamentos vão avariar não são conhecidos mas podem ser descritos por uma distribuição de probabilidade.

Nesta perspectiva Leitão (1999) propõe a aplicação da distribuição de Weibull para a minimização do custo (C) em função do tempo óptimo de substituição (t_p).

De acordo com Jardine (1979) o tempo óptimo de substituição de equipamentos ou de componentes pode também ser abordado numa perspectiva probabilística (estocástica) ou determinística quando os custos de exploração e a degradação de certos componentes aumentam com o uso propondo dois métodos determinísticos. Um deles determina o intervalo óptimo de tempo que minimiza os custos operacionais e o outro determina a mais correcta política de inspecção que permita fornecer o balanço adequado entre o número de inspecções (n) e os seus resultados para maximizar o proveito por unidade de tempo de funcionamento do equipamento durante o período. Badía *et al* (2002) referem-se aos intervalos de tempo óptimos para manutenção e aos custos da fiabilidade.

Um dos principais factores que afectam os custos directos e indirectos de manutenção é a maior ou menor capacidade de diagnóstico e da previsão das avarias associada dos equipamentos. Por consequência segue-se, também, a capacidade de planeamento, preparação, programação e flexibilidade das actividades de manutenção em conjunto com as da produção.

Assim, o autor atrás citado considera que as falhas dos equipamentos e os tempos de reparação ocorrem de acordo com a distribuição exponencial negativa (o que é aceitável para sistemas estáveis) e que a taxa de avarias (λ) é função do número de inspecções (n), considerando-se por isso que existe relação directa entre o número de avarias e o número de inspecções ($\lambda = \lambda(n)$).

O valor do proveito (V') ou valor acrescentado da acção corresponde ao *output* do equipamento durante o período de tempo sem avarias, sendo as médias dos custos de inspecção (I) e de reparação (R) são obtidos através do valor do período correspondente à interrupção de funcionamento. O proveito por unidade de tempo $P(n)$ de funcionamento do equipamento é uma função do número de inspecções e obtido por:

$$P(n) = (\text{Valor do } output \text{ do equipamento por unidade de tempo}) - [(\text{Valor do } output \text{ por unidade de tempo para reparações e inspecções}) + (\text{Custo das reparações e inspecções})].$$

Actualmente as funções Manutenção e Produção tendem a querer conhecer cada vez mais e em cada momento o estado de funcionamento dos equipamentos para, a partir destes dados determinísticos, se decidir que acções se devem tomar sobre os mesmos. Esta pretensão é conseguida segundo Honkanen (2004) através das metodologias CBM – *Condition Based Maintenance* e RBI – *Risk Based Inspection*, referidas nos sub-capítulos 1.5.1.6 e 1.5.1.7; através da análise e da avaliação de dados *on-line* e *off-line* referidos por Sequeira *et al* (2002) para quantificar o risco das eventuais falhas e decidir-se acerca das acções proactivas de manutenção que evitem as eventuais consequências das paragens imprevistas por avaria.

Existem bastantes técnicas de inspecção para além da percepção dos sentidos Humanos e das ferramentas de controlo dimensional as quais permitem a obtenção de diagnósticos de grande fiabilidade mesmo com os equipamentos em funcionamento.

Referem-se, em seguida, algumas dessas técnicas:

- Medição e análise de vibrações;
- Medição de temperaturas por contacto e sem contacto;
- Obtenção e análise de imagens térmicas;
- Quantificação e análise de partículas de desgaste;
- Medição de variáveis de carga dos equipamentos;
- Quantificação e análise do nível de ruído;
- Medição de espessuras;
- Detecção de fissuras;
- Medição de isolamento eléctrico;
- Medição de isolamento térmico;
- Medição de binário;
- Medição de variáveis de processo;
- Avaliação de alinhamento;
- Análise da condição do lubrificante;
- Detecção de fugas;
- Medição da taxa de corrosão;
- Detecção das sequências de paragem e arranque de equipamentos;
- Outras técnicas.

De entre as técnicas atrás referidas umas são aplicáveis a equipamentos rotativos e outras aos equipamentos estáticos. De notar que os dados determinísticos obtidos através de algumas das técnicas referidas podem representar um determinado nível da condição do funcionamento do(s) equipamento(s) como se apresenta no quadro 5.5 da página 269 do sub-capítulo 5.2.4 e por isso também podem ser usados quando independentes entre si no modelo PHM – *Proportional Hazard Model* usado neste trabalho. Neste sentido Carr e Wang (2008) fazem uma comparação entre os resultados da metodologia CBM – *Condition-based Maintenance* apresentada na página 40 e o PHM – *Proportional hazard Model* abordado nas páginas 47 e 121 e apresentado na página 156.

Assim, apresentam-se no quadro 1.5 algumas dessas técnicas e exemplos dos tipos de equipamentos a que se podem aplicar.

Quadro 1.5 – Aplicabilidade das técnicas de inspecção aos equipamentos

Técnica(s)	Tipos de equipamento(s)
Medição e análise de vibrações	Equipamento rotativo, tais como bombas, motores eléctricos, redutores, agitadores, ... e estático
Medição e análise de temperaturas	Equipamento rotativo, tais como bombas, motores eléctricos, redutores, agitadores, quadros eléctricos, ...
Quantificação e análise de partículas de desgaste	Equipamento rotativo associado a unidades hidráulicas e lubrificação, ...
Medição do nível de ruído	Equipamento rotativo em geral e estático. Válvulas, purgadores,
Medição de espessuras	Equipamento estático, tais como tubagens, chapas de tanques, ...
Detecção de fissuras	Equipamento estático, tais como estruturas de máquinas, tubagens, ...
Medição de isolamento eléctrico	Equipamento eléctrico, tais como quadros eléctricos, transformadores, ...
Medição de isolamento térmico	Equipamento estático, tais como tubagens, paredes, ...
Medição de binário	Equipamento rotativo, tal como transmissões, ...
Medição variáveis de processo	Equipamento estático e rotativo
Medição de grandezas eléctricas	Equipamento eléctrico em geral, estático e rotativo
Avaliação através de fibras ópticas	Equipamento estático e rotativo com pouca acessibilidade interior

Finalmente, refere-se que na prática operacional as decisões sobre os custos dos equipamentos e a maximização do proveito são normalmente uma consequência dos custos indirectos de manutenção quantificados através das perdas de produção e não, salvo excepções, através de modelos que assentam nos custos (médios) de exploração que derivam do somatório dos custos das avarias dos equipamentos.

Uma dessas excepções diz respeito à geração tecnológica dos equipamentos. Neste caso para além de aspectos de garantia da fiabilidade surgem questões de economia energética, de produtividade e, ainda, dificuldades ou impossibilidade de aquisição de peças ou componentes de substituição. Outros aspectos normalmente não tão visíveis, mas que influem de forma determinante os custos directos de manutenção são:

- O tipo de actividade produtiva, a dimensão e dispersão geográfica das instalações ou fábricas. Aspectos referidos por Pinto V. (2002), Tsang (2002);
- O nível tecnológico usado pelos equipamentos e sistemas de controlo abordados por Ferreira (1998), Bhat (2000);
- A utilização ou não do recurso ao *outsourcing manpower*. Reportado por Rasila e Gersberg (2007), Jardine e Tsang (2006), Knapp e Mahajan (1998), Henderson (2000);
- A organização e a estrutura dos serviços de manutenção. Referidas por Tsang (2002);
- A contratação de serviços especializados;
- A interpenetração com a produção referenciada por Tsang (2002);
- A filosofia e as metodologias de manutenção adoptadas referidas por Jardine e Tsang (2006), Nicolai *et al* (2006), Wu e Croome (2005), Tsang (2002), Baek (2007);
- A capacidade de planeamento e programação de trabalhos de acordo com Duffuaa e Sultan (1997), Cassady e Pohl (2002) e Cassady *et al* (2001);
- A medição do *backlog* referida por Aughenbaugh, J. D. (2003b) em www.mt-online.com acedido em 2005 e Mendes (2005);
- As interligações e contratos com os fabricantes e fornecedores de peças e de equipamentos. Descrito por Harreld, H. (2004) em www.infoworld.com;
- A uniformização (possível) das diferentes famílias e tipos de equipamentos;
- A política e a gestão de stocks de peças e equipamentos em armazém reportado por Jardine e Tsang (2006), Isdal, T. G. e Waak, O. (2001) em www.alcion.es acedido em 2006;
- O nível de educação e treino dos recursos abordado por Tsang (2002);
- O suporte logístico caracterizado pela NF EN 13306;
- Recuperação de peças e equipamentos rotáveis ou não;
- O controlo e a garantia de qualidade dos materiais e serviços;
- A eficiência dos sistemas de informação e gestão analisados por Tsang (2002), Mylopoulos (1998), Schmidt (2000), Quinello e Nicoletti (2005), Pintelon e Puyvelde (1999b) e as infraestruturas de suporte à actividade.

Finalmente, é necessário medir o desempenho (*performance*) através de indicadores referidos por Campbell (1995) e que segundo Kaplan e Norton (1996) são suportados através do *balance score card* (BSC).

1.6.2 – Modelos que visam maximizar a disponibilidade dos equipamentos

A disponibilidade dos equipamentos é um indicador que pode variar entre o mínimo de zero e o máximo de uma unidade (pode também ser apresentado em percentagem) e obtem-se através da relação entre a fiabilidade e manutibilidade. A fiabilidade diz respeito ao comportamento dos materiais e a manutibilidade refere-se ao *design* e, por consequência, à rapidez de reparação dos equipamentos. A disponibilidade, segundo Ferreira (1998), é a probabilidade de bom funcionamento de um dispositivo (equipamento) no instante t . A disponibilidade depende dos seguintes factores:

- Do número de avarias (fiabilidade);
- Da rapidez com que as avarias são reparadas (manutibilidade);
- Do tipo de manutenção (manutenção);
- Da qualidade dos meios e recursos disponíveis (logística).

Pereira (1996) refere que o aumento da disponibilidade dos equipamentos e componentes é um dos principais objectivos de todos os modelos de manutenção. Pretende-se otimizar a relação “custo do modelo/período de funcionamento”. O autor atrás citado considera que o conceito de disponibilidade não implica, necessariamente, que o equipamento esteja em funcionamento mas, tão só, que esteja em condições de funcionar. Assis (2004) refere a disponibilidade operacional e a intrínseca. A primeira reflecte a eficiência da organização (logística, tipos de manutenção, tempos administrativos) e a segunda a qualidade do equipamento. Este autor considera que a taxa de avarias λ quando aproximadamente constante é igual ao inverso do tempo médio entre avarias (MTBF) e que a taxa de reparação μ (n.º médio de operações de manutenção por unidade de tempo) é igual o inverso do tempo médio de reparação (MTTR). Assim, a disponibilidade (A) é representada através da expressão 1.13.

$$A = \mu / (\mu + \lambda) \quad (1.13)$$

O tempo de operação dos equipamentos reparáveis não é contínuo, isto é, os seus ciclos de “vida” são descritos por uma sequência de *up* e *down states*. O sistema opera até avariar e em seguida é reparado para retomar a sua condição original e assim sucessivamente. Estes ciclos são chamados de *renewal process* definidos por variáveis aleatórias não negativas e independentes. Nesta situação a variável aleatória é função do tempo até à avaria e do tempo de reparação. A figura 1.16 representa o processo atrás descrito.

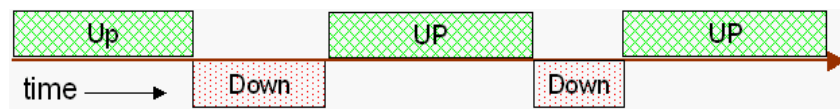


Fig. 1.16 – Processo de renovação de um equipamento (sistema)

Nos processos de renovação (*renewal process*) assume-se que o(s) componente(s) avariado(s) ou o(s) equipamento(s) são substituídos por outros novos ou são reparados em condições equivalentes a “as good as new”. Na Web site www.weibull.com/system, acedido em 2007, a fiabilidade é definida como uma probabilidade do “item” não avariar e a manutenibilidade como a probabilidade do “item” ser reparado com maior ou menor “sucesso” depois de avaria. O quadro 1.6 ilustra a relação entre a fiabilidade, manutenibilidade e, finalmente, o resultado da disponibilidade.

Quadro 1.6 – Fiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade

Reliability	Maintainability	Availability
■ Constant	↓ Decreases	↓ Decreases
■ Constant	↑ Increases	↑ Increases
↑ Increases	■ Constant	↑ Increases
↓ Decreases	■ Constant	↓ Decreases

A disponibilidade é referida por Barlow e Proschan (1965/1996) através de modelos estocásticos. Blanchard e Fabrycky (1998) caracteriza a disponibilidade como “*a measure of the degree of a system which is in the operable and committable state at the start of mission when the mission is called for at an unknown random point in time*”.

Lie, Hwang e Tillman (1997), Barringer (1997), Canuto e Pereira (2002), entre outros, classificam a disponibilidade em inerente, alcançada e operacional.

A primeira diz respeito à execução das operações de reparação; a segunda inclui as operações preventivas e, finalmente, a terceira inclui todas as operações desde a paragem até arranque do equipamento. Niebel (1994) relaciona e quantifica um conceito geométrico da disponibilidade que é apresentado na figura 1.17.

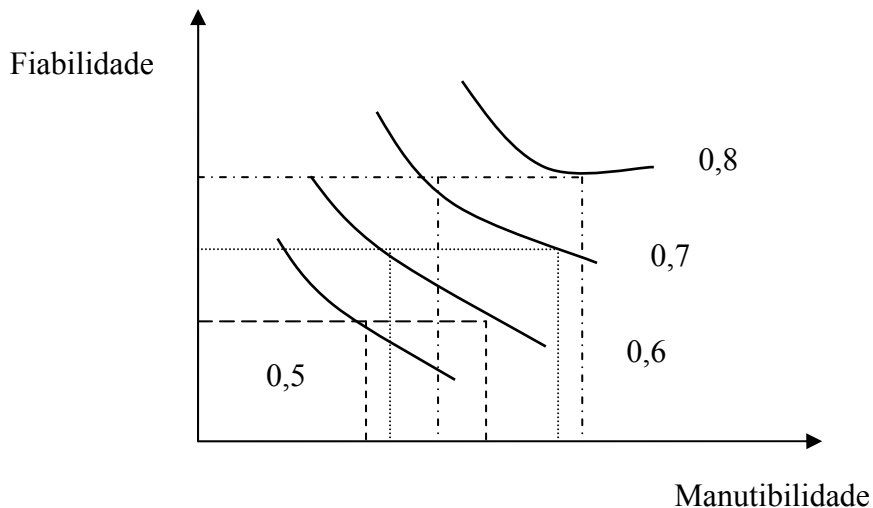


Fig. 1.17 – Variações para disponibilidades entre 0,5 e 0,8

Para maximizar a disponibilidade é necessário recorrer a modelos que permitam incrementar a fiabilidade dos materiais e (ou) a manutibilidade dos equipamentos ou de ambos. Os modelos usados em manutenção de equipamentos que visam maximizar a sua disponibilidade são referidos por Barlow e Proschan (1975) para modelos de substituição; Fawzi e Hawkes (1990) e (1991) para sistemas em série com substituição/reparação e para sistemas R-out-of-N que consideram para além das reparações os *spares* (sobressalentes) também tratados por Kumar e Knezevic (1998); Murdock (1995) e Nachlas (1998) abordam os modelos de substituição preventiva e Iyer (1992), Wang e Pham (1996) referem-se aos modelos de reparação imperfeita. A definição de disponibilidade pode ser bastante flexível e relaciona-se, em grande parte, com a forma de como se pretende analisar o contexto operacional. Assim, de acordo com Lie *et al* (1977) e com a Reliasoft Corporation na Web site www.weibull.com, conforme o grau da análise requerida no processo de manutenção assim poderão ser usados diferentes tipos e indicadores para a(s) disponibilidade(s) que se apresentam:

- Disponibilidade instantânea ou pontual;
- Disponibilidade média;

- Disponibilidade de estado constante;
- Disponibilidade inerente;
- Disponibilidade alcançada;
- Disponibilidade operacional.

- Disponibilidade instantânea ou pontual $A(t)$. *Instantaneous (or point) availability is the probability that a system (or component) will be operational (up and running) at any random time, t .*

- Disponibilidade média $\overline{A(t)}$. *The mean availability is the proportion of time during a mission or time period that the system is available for use. It represents the mean value of the instantaneous availability function over the period $[0, T]$.*

- Disponibilidade de estado constante $A(\infty)$. *The steady state availability of the system is the limit of the instantaneous availability function as time approaches infinity.*

$$A(\infty) = \lim_{t \rightarrow \infty} A(t)$$

Para considerações práticas a função atrás referida da disponibilidade instantânea inicia a sua aproximação ao valor da disponibilidade de estado constante após um período de tempo de, aproximadamente, quatro vezes o tempo média entre avarias. A figura 1.18 representa tipicamente o facto referido.

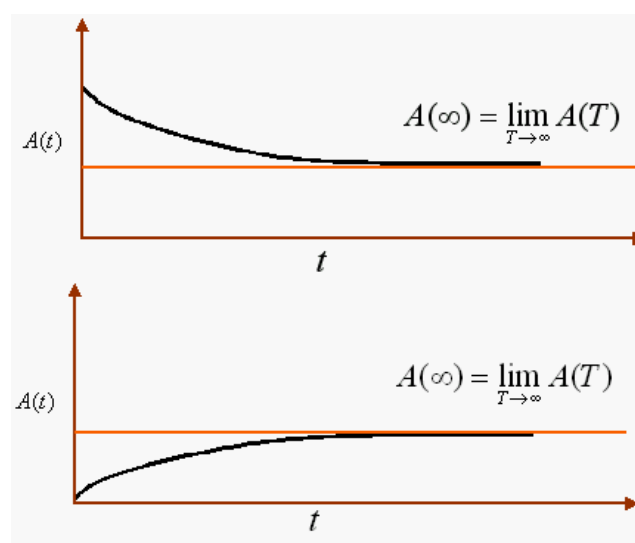


Fig. 1.18 – Disponibilidade instantânea e de estado constante

- Disponibilidade inerente A_I . *Inherent availability is the steady state availability when considering only the corrective downtime of the system. For a single component, this can be computed by expression 1.14.*

$$A_I = \frac{MTTF}{MTTF + MTTR} \quad (1.14)$$

Esta aplicação torna-se mais complicada para um sistema. Para o fazer é necessário considerar o tempo médio entre avarias, ou MTBF, e efectuar o cálculo de acordo com a expressão 1.15.

$$A_I = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (1.15)$$

O cálculo atrás referido pode parecer simples. Contudo, deve-se ter em atenção que até se alcançar o estado constante o MTBF pode ser uma função do tempo como acontece num sistema em degradação. É também importante notar que o MTBF aqui definido é diferente do MTTF (tempo médio até à primeira avaria).

- Disponibilidade alcançada A_A . *Is very similar to inherent availability with the exception that preventive maintenance (PM) downtimes are also included. Specifically, it is the steady state availability when considering corrective and preventive downtime of the system. It can be computed by 1.16 looking at the mean time between maintenance actions MTBM and the mean maintenance downtime $\overline{M}$.*

$$A_A = \frac{MTBM}{MTBM + \overline{M}} \quad (1.16)$$

- Disponibilidade operacional A_o . *Operational availability is a measure of the average availability over a period of time and it includes all experienced sources of downtime, such as administrative downtime, logistic downtime, etc. Operational availability is the ratio of the system uptime and total time. Mathematically it is given by 1.17.*

$$A_o = \frac{Uptime}{Operating Cycle} \quad (1.17)$$

Neste caso, o ciclo operacional (*operating cycle*) ou o MTBF acrescido do MDT (*medium down time*) corresponde ao período de tempo total das operações em análise e o tempo produtivo é o tempo total em que o sistema está a funcionar (*uptime*) ou o MTBF durante o ciclo atrás referido. Assim, a disponibilidade operacional é uma função do tempo t ou seja do ciclo operacional e quando existem tempos logísticos de manutenção, o que frequentemente acontece, a expressão 1.17 atrás apresentada volta a representar a disponibilidade média do sistema.

A disponibilidade operacional é aquela que o “cliente” dos serviços de manutenção realmente experimenta. É, essencialmente, a disponibilidade *à posteriori* resultante de todos os acontecimentos (eventos) que realmente ocorreram no sistema. Estes acontecimentos incorporam também na prática os tempos de consignação dos sistemas que na maior parte da vezes são da responsabilidade do próprio cliente (produção).

Na grande maioria dos casos a disponibilidade operacional não pode ser controlada pelo fabricante dos equipamentos devido às diferentes aplicações e localizações geográficas, à qualidade e acessibilidade dos recursos e, ainda, devido a outros factores, nomeadamente os relacionados com a forma de uso, que são da exclusiva competência do utilizador final dos equipamentos.

Ferreira (1998) designa o resultado da razão MTTR/MTBF por relação de manutenção e apresenta-a como um caso particular do cálculo da disponibilidade nos dos transportes de caminho de ferro como um indicador da qualidade do serviço. Este indicador é caracterizado pela segurança e pontualidade (SP) e representa a probabilidade para que o atraso de uma composição não ultrapasse um determinado tempo para além do horário previsto.

Canuto *et al* (2002) apresenta um caso prático da aplicação dos conceitos atrás apresentados a um secador de pasta para papel. Neste caso o *medium down time* (MDT) era cerca do dobro do *mean time to repair* (MTBM) do sistema tendo-se validado e concluído, posteriormente, ser mais adequado “aumentar a disponibilidade operacional (A_0) à custa da redução do número de paragens do secador ou seja da sua fiabilidade (MTBF) e não, simplesmente, à custa da redução dos tempos de reparação como à partida se poderia supor”.

1.7 – As ferramentas que visam a flexibilidade operacional e a competitividade

1.7.1 – O *benchmarking*

Benchmarking era um termo de agrimensura. Nesse contexto *benchmark* era uma marca distintiva feita numa rocha, construção ou parede que era usada como ponto de referência na determinação da posição ou da altitude em levantamentos topográficos e da posição das marés. Patterson (1996) refere que se pode fazer *benchmarking* com tudo, desde os tempos de paragem de uma máquina, às horas de trabalho suplementares de um empregado ou ao tempo de entrega de um produto. O *benchmarking* apesar de se ter iniciado na indústria é, também, usado na prestação de serviços como um instrumento para atingir a qualidade e permita a empresa a melhorar continuamente os seus processos, aprendendo através do conhecimento do modo como os outros fazem. A marca Xerox introduziu com sucesso o conceito de *benchmarking* em 1979 nos processos associados à logística e distribuição. Outras empresas como a Chrysler e a Convex Computers fizeram *benchmarking*, respectivamente, nos métodos de resolução de problemas da linha de montagem e na manutenção de rotina e reparações.

Leibfried, *et al* (1994) entende o *benchmarking* como um processo através do qual se procura efectuar comparações das actividades que são desempenhadas na própria empresa com outras e os seus resultados, com a forma como são realizadas pela concorrência ou com outros sectores de actividade. Este processo pressupõe, segundo Camp (1994/1998), uma análise e diagnóstico interno na empresa nomeadamente ao nível da satisfação dos clientes, do custo, da produtividade e da rentabilidade e também da identificação dos *benchmarks*, i.e., os resultados em relação aos quais o seu desempenho vai ser comparado. Em face dos dados resultantes, procede-se às comparações. A ideia não é copiar simplesmente as melhores práticas mas, tão sómente, compreender porque razões os líderes ou concorrentes são melhores do que a empresa.

O *benchmarking*, segundo Brilman (1998), não é uma simples identificação das *best practices*, vai para além disso, porque supõe um trabalho aprofundado de medida dos seus próprios desempenhos, do parceiro e, depois, a aplicabilidade na organização. O *benchmarking* tem por objectivo melhorar o(s) desempenho(s) de uma função, da actividade ou de um processo. Com efeito ele permite:

- Formular objectivos ambiciosos;
- Acelerar o ritmo de mudança;
- Ver a partir do exterior;
- Identificar os processos que permitem as rupturas;
- Aumentar a satisfação dos clientes e as vantagens competitivas;
- Conhecer pontos fracos e fortes através da auto-avaliação;
- Criar um clima baseado em factos geradores de consensos;
- Aumentar a capacidade de utilização de medidas para melhorar a gestão.

Patterson (1998) refere que podem ser caracterizados seis tipos de *benchmarking* entre os quais se referem o “interno”, o “concorrêncial” e o “*World Class*”. A aplicação de cada um deles dependerá do tipo e do tamanho da organização e dos objectivos.

No que diz respeito à gestão da manutenção industrial para além dos indicadores de gestão relativos aos equipamentos e às instalações tais como a disponibilidade para produzirem, a fiabilidade e a manutenibilidade, a sua eficiência quanto ao ritmo de produção e a qualidade do produto que processam são, também, igualmente importantes os factores de custo associados aos materiais e, particularmente, aos dos recursos humanos que influem a produtividade e flexibilidade. Relativamente à produtividade Gago *et al* (2003), em “Produtividade em Portugal”, Medir para Gerir e Melhorar, patrocinado pela AIP – Associação Industrial Portuguesa, referem a Carta Magna da competitividade de Portugal entre as Nações baseada três princípios básicos:

- O da mensurabilidade. A competitividade, a qualidade, a inovação e a produtividade são medidas através de indicadores universalmente aceites;
- O da temporalidade. O desafio é para ser cumprido numa década, sendo por isso definidas e medidas as respectivas metas intermédias;
- O da incerteza. O que obriga a modelos de gestão flexíveis capazes de acompanhar as *nuances* da economia do conhecimento e ao privilégio do empreendedorismo e, ainda, a capacidade de risco, em ambiente científico e tecnológico avançado, dominado pela informação actualizada e pela *intelligence* empresarial oportuna.

Relativamente à flexibilidade Correia (2003), em “A flexibilidade nas empresas”, refere que o modelo flexível de organização dos próximos anos tudo leva a crer que se baseará em estruturas simples, leves, com poucos níveis hierárquicos, com uma autoridade dispersa e uma responsabilidade assente no conhecimento e partilhada por muitos interlocutores. Ao invés do clássico planeamento fixo e repetitivo, o novo modelo requer um planeamento flexível e um processo decisório que é descentralizado e participativo. Existem várias teorias e tipos de abordagem de mudança no sentido da criação e da manutenção de vantagens competitivas duradouras que a seguir se apresentam e que podem ter alguns aspectos de contacto com o *outsourcing*.

- A “reengenharia” onde a ideia de fundo passa pela obtenção respostas a uma pergunta básica: E se pudéssemos começar do princípio como é que faríamos?
- A “reestruturação” onde o objecto de análise é a estrutura. As reestruturações são de acordo com Alves (1995) normalmente orientadas no sentido de se alterarem as relações organizacionais de estrutura e sobretudo reduzir custos através da obtenção de sinergias e despedimento de pessoal;
- O “BPM” – *Business Process Management* que face á relação estreita entre o conceito de reengenharia e de *outsourcing* começa a confundir-se resultando, assim, no aparecimento do conceito de BPM como sinónimo de *outsourcing*. O *outsourcing* já não significa apenas contratar determinadas funções a empresas terceiras mas é, antes do mais, uma forma de gestão dos processos de negócios, sem modelos fixos, criando novas relações empresariais;
- O *downsizing*, segundo Tomasko (1987), baseia-se na construção da arquitectura organizacional que compreende tarefas de redimensionamento, de redesenho e de repensamento;
- Novas organizações através do recurso a alianças estratégicas;
- Finalmente o *benchmarking* deve ser entendido como um processo sistemático e metodológico de análise e de pesquisa de mercado, orientado para os produtos, os serviços, os processos e as práticas de empresas líderes.

Kahn *et al* (2002) apresentaram na 16ª Conferência Internacional de Manutenção da Euromaintenance de 2002 um estudo de *benchmarking* das práticas de manutenção em diferentes fábricas de produção de pasta e papel da América do norte com produções de 100 até 1000000 de toneladas por ano e com 100 até 1200 empregados.

Segundo o autor atrás citado, foram enviados inquéritos para 571 fábricas cujo conteúdo foi dividido em três grandes secções:

- Gestão e informação geral fabril;
- Práticas de manutenção mecânica;
- Práticas de manutenção eléctrica.

Foram recebidas 141 respostas. A interpretação e o tratamento dos resultados que a seguir se apresentam foram efectuados pelos membros do Sub-Comité de Manutenção industrial da TAPPI – Technical Association of Pulp & Paper Industry. Os orçamentos (em dólares) totais da manutenção dessas fábricas são apresentados na figura 1.19.

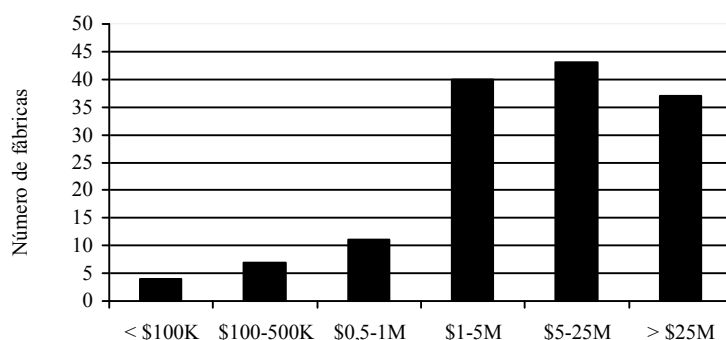


Fig. 1.19 – Orçamentos (U.S. dólares) de Manutenção

As percentagens orçamentais afectas ao custo dos recursos humanos operacionais em relação ao orçamento total da manutenção são apresentadas na figura 1.20.

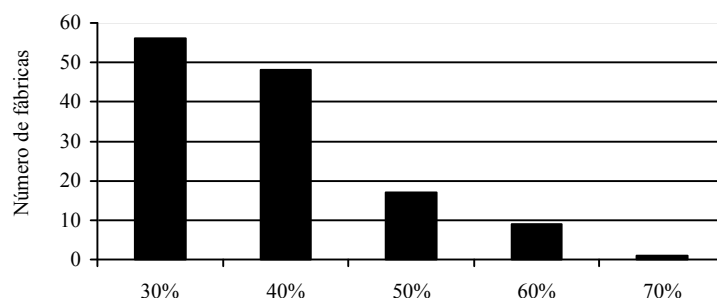


Fig. 1.20– Percentagem orçamental dos salários

Das respostas recebidas verificou-se que o número de empregados na função manutenção representava em média cerca de 20% do total dos empregados.

Segundo Smith e Carpenter (1986) e Smith (1987) o número de empregados atrás indicado reduziu ligeiramente comparativamente com 22% a 23% obtidos em 1987.

Segundo Kahn *et al* (2002) as práticas de manutenção destas fábricas apresentaram progressos devidos à aplicação de programas de manutenção preventiva (PM) e preditiva (PdM). De referir que à uma década atrás a manutenção preventiva era reconhecida como a melhor prática de manutenção e a manutenção preditiva era, ainda, considerada como uma interessante teoria. O orçamento para a manutenção preventiva era em 1986 e 1987 cerca de 9 a 22% do orçamento total da manutenção.

Os PdM surgem como as práticas mais adequadas e que optimizam os custos de manutenção tendo em consideração os avanços da tecnologia na área dos sensores e os reduzidos custos do equipamento de diagnóstico. As percentagens orçamentais obtidas da aplicação destas práticas apresentam-se na figura 1.21. De facto cerca de 4 fábricas indicam que a totalidade do seu orçamento de manutenção é dedicado à PM e PdM e a média dos orçamentos para estas actividades cifram-se em cerca de 40%.

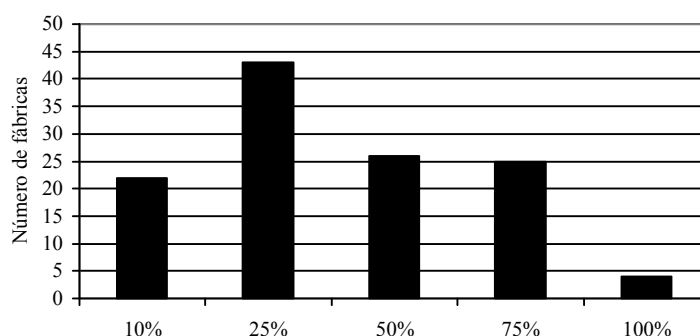


Fig. 1.21 – Percentagem orçamental de PM e PdM

De acordo com Gulati (2000) a média orçamental em 1997 para a PM e PdM era cerca de 52% e segundo o Instituto Marshall (1998) as organizações consideradas de “Classe Mundial” gastam cerca de 70% do orçamento de manutenção naquelas actividades.

Como suporte aos programas de manutenção preventiva e preditiva as organizações usam sistemas computarizados de gestão da manutenção (*Computerized Maintenance Management Systems* – CMMS) para o tratamento dos dados históricos dos equipamentos das tarefas (actividades) preventivas e preditivas e, também, para o

acompanhamento e controlo dos custos de manutenção. Um inquérito conduzido por Harrison (1993) refere que cerca de 85% das fábricas usam o CMMS e segundo a *Plant Maintenance Resource Center* (2000) é reportado que cerca de 90% das fábricas utilizam o CMMS.

Um dos indicadores usados na gestão da manutenção (KPI – *Key Performance Indicator*) é o número de ordens de trabalhos PM e PdM programadas e executadas. Para Smith e Black (2000) este indicador deve situar-se em organizações consideradas com *Best Maintenance Practices* em cerca de 90% e para a classificação de *World-Class* o indicador deve situar-se muito próximo de 100%. No inquérito atrás referido efectuado na América do norte os resultados são os que se apresentam na figura 1.22.

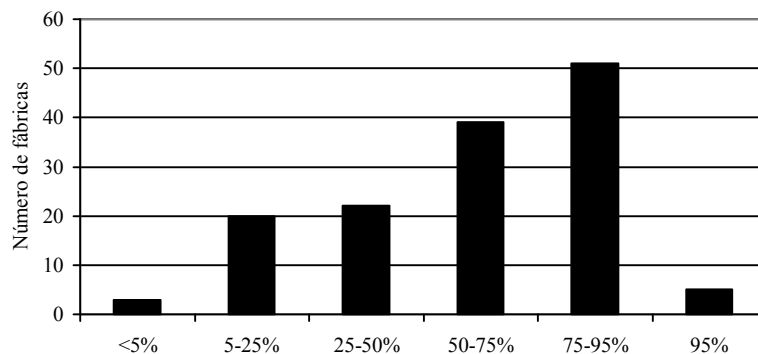


Fig. 1.22 – Percentagem de ordens de trabalho programadas e executadas

Relativamente à manutenção não programada, correspondente a tempos para trabalhos fortuitos de reparação que provocam paragens não planeadas, cerca de 72% das respostas reportam que estas situações representam menos de 5% e cerca de 51% reportam o tempo das paragens para manutenção não planeada em menos 3%. Por outro lado apenas 26% das respostas indicam que efectuem análises às causas das avarias e em cerca de 12% das fábricas o *down-time* não programado aumentou.

No sentido de minimizar a chamada manutenção fortuita ou reactiva, incrementando a eficácia da manutenção preventiva ou preditiva, a operação (Produção) pode, até certa medida, colaborar e executar actividades (tarefas) tais como: limpeza, lubrificação, apertos (pequenas reparações) e inspecções aos equipamentos.

Esta prática suportada pela filosofia TPM – *Total Productive Maintenance*, referida no sub-capítulo 1.5.1.2, envolve os operadores do processo (Produção) com a manutenção pelo que, de acordo com o inquérito e com a figura 1.23, representa em cerca de 82 fábricas menos de 7% das actividades (tarefas) de manutenção. Harrison (1993) reporta que esta média se deve situar entre 6% a 29% e Connaughton (2000) refere o valor de 30% para as organizações caracterizadas por *World-Class*.

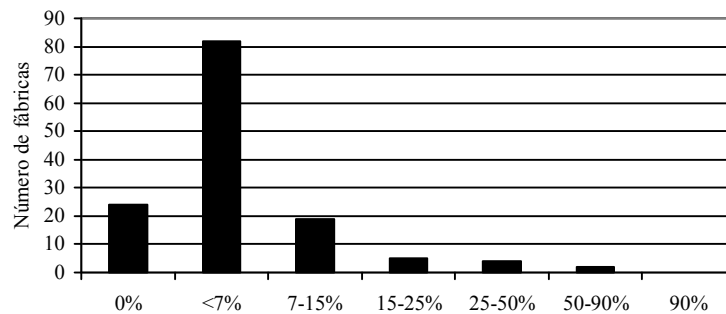


Fig. 1.23 – Actividades de manutenção efectuadas por operadores (Produção)

Foram referidos até aqui os resultados obtidos relativamente à gestão e às informações gerais da actividade da manutenção. Vão-se agora apresentar as práticas da actividade da manutenção industrial nas áreas mecânica e eléctrica.

Na especialidade mecânica os principais modos de falha que originam as avarias dos equipamentos e as eventuais faltas de manutenção PM e(ou) PdM são apresentadas na figura 1.24. Estes resultados correspondem, também, às respostas obtidas nos inquéritos enviados às fábricas de pasta e papel da América do norte.

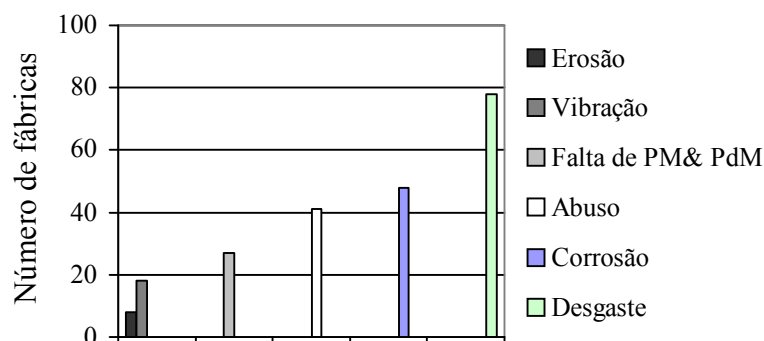


Fig. 1.24 – Principais causas dos trabalhos de reparação

O questionário procurou respostas acerca dos programas de manutenção mecânica específicos (PM & PdM) sendo apresentados no quadro 1.7 os cinco mais (*top five*) usados e que se admitem corresponder aos melhores níveis de manutenção.

Quadro 1.7 – Programas de manutenção mecânica

Programa de Manutenção	% de utilizadores
Análise de vibrações	97
Análise de óleos e de desgastes	64
Inspecções (<i>walk-down inspections</i>) sensoriais	61
Verificação de alinhamentos	54
Inspecções (verificações) de temperaturas	52

São também referidas inspecções a fundações (60%), a tensão de correias (28%), inspecções a ruídos (29%) e a sobre-pressurização (17%). Os intervalos de tempo mais representativos para a recolha de dados de vibrações nas máquinas estão compreendidos entre períodos mensais e semanais e o número médio e máximo de pontos a monitorar atingiu, respectivamente, os valores de 1900 e 11730. Os recipientes fechados (por exemplo tanques) e pressurizados por serem considerados críticos sob o ponto de vista da segurança são inspeccionados em cerca 84% das fábricas das quais em 78 são efectuados por exames não destrutivos (NDE – *Non-Destructive Examination*) por ultrasons. Os líquidos penetrantes, a radiografia e as emissões acústicas são as técnicas usadas em cerca de 46 fábricas. As frequências de recolhas das amostras de óleos dos equipamentos consideradas nos programas de manutenção preditiva são as que se apresentam na figura 1.25.

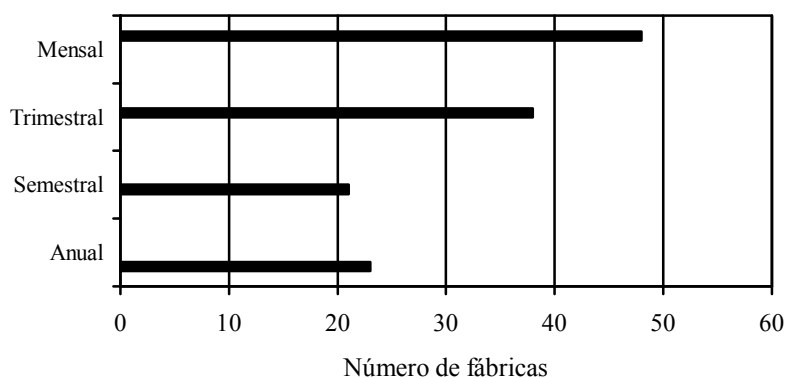


Fig. 1.25 – Frequências das recolhas de amostras de óleos

Relativamente às práticas da manutenção na especialidade eléctrica o mesmo questionário já referido procurou obter respostas acerca dos respectivos programas específicos de PM e PdM sendo apresentados, no quadro 1.8, os cinco mais (*top five*) usados e que se admitem poder ser os melhores níveis dos programas de manutenção. De salientar, também, as inspecções (rotinas) sensoriais de manutenção que ocupam a 6.^a posição quanto à sua aplicabilidade e uso correspondendo a cerca de 43% das respostas.

Quadro 1.8 – Programas de manutenção eléctrica

Programa de manutenção	% de utilizadores (n.º de fábricas)
Inspecções por infravermelhos	88
Análise a transformadores	68
Calibração de relés de protecção	63
Testes de resistência de isolamento	54
Testes de carga a interruptores	50

São ainda reportados testes a motores eléctricos (27%) e ao factor de potência (23%). Os intervalos de tempo usados pelas diferentes fábricas para verificações, testes e(ou) diagnósticos a sistemas eléctricos são os apresentados no quadro 1.9.

Quadro 1.9 – Frequências de testes e diagnóstico eléctrico

Tipo de programa	Frequência (anos) / N.º de fábricas						
	½	1	2	3	5	-	Nunca
Inspecções infravermelhos	39	75	12	3	-	2	2
Testes a interruptores	-	47	12	19	20	19	19
Calibração de relés protecção	-	-	49	24	20	25	13
Testes ao óleo de transformadores	-	78	11	4	9	21	-
Testes a transformadores	3	67	9	6	7	27	-

A média da idade das instalações eléctricas das fábricas questionadas era cerca de 20 anos havendo casos (62%) com algum sistema com 30 anos ou ainda mais.

É ainda reportado que na maioria das fábricas as inspecções por infravermelhos são efectuadas através de serviços contratados. Estes serviços são efectuados nas diferentes fábricas aos equipamentos apresentados na figura 1.26.

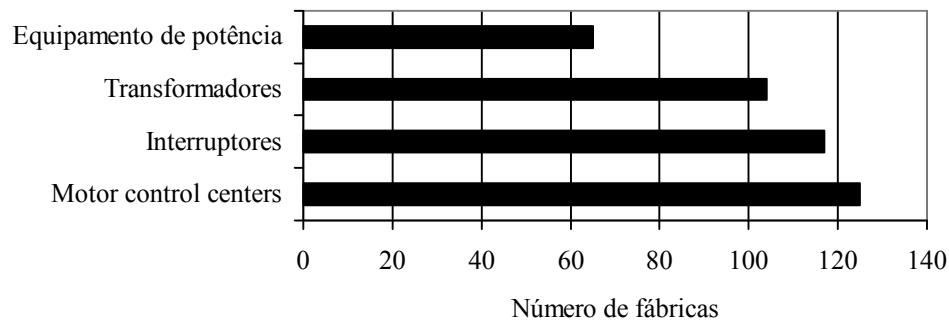
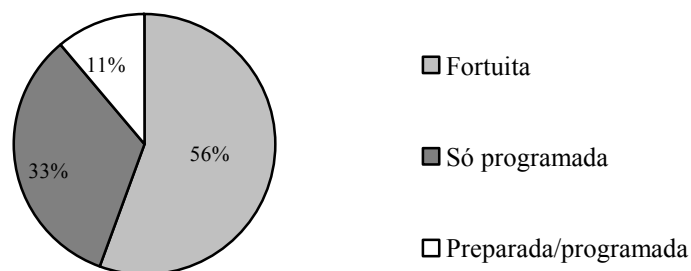


Fig. 1.26 – Famílias de equipamentos submetidos a infravermelhos

A IDCON, Inc. - Results Oriented Maintenance™ (1997) também apresenta alguns resultados comparativos da *performance* típica da manutenção industrial com a designada *World-Class maintenance*. Os resultados obtidos em 1999 relativamente ao *daily-work planning and scheduling* dizem respeito a 48 fábricas dos U.S.A. A comparação com a designada *World Class* é apresentada na figura 1.27.

Performance típica da actividade de manutenção



World Class - Melhor prática de manutenção

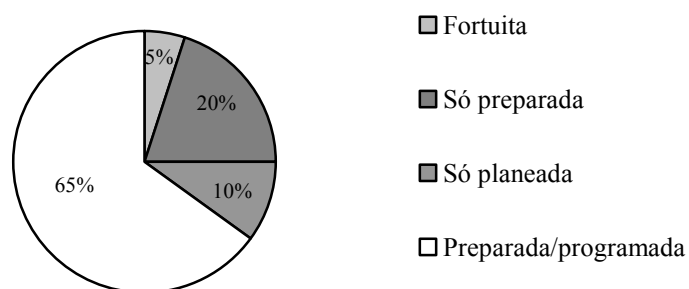


Fig. 1.27 – Comparação da *performance* típica com a *world class*

Apresentam-se ainda no quadro 1.10 os resultados da IDCON, Inc. – R. O. MTM (1997) relativos à disponibilidade dos equipamentos e à qualidade dos produtos processados (OME – *Overall Machine Efficiency*) em 14 linhas de processo industriais.

Quadro 1.10 – OME* *benchmark*

Overall Machine Efficiency	
Alto	95,8%
Baixo	84,3%

*Não inclui o ritmo de produção considerado no OEE (sub-cap. 1.5.1.4)

Também entre os anos 1990 e 1995 associação Espanhola de Manutenção apresentou em 2000 os resultados do questionário efectuado a cerca de 2770 diferentes unidades industriais. Relativamente ao sector químico aquele que nos interessa considerar e para as unidades de grande dimensão destacamos os seguintes resultados: A idade média das instalações é superior aos 25 anos; o número de efectivos dos serviços de manutenção é em média de 88 colaboradores; em cerca de 45% das unidades fabris a produção colabora na execução de alguns trabalhos de manutenção; o número de trabalhos solicitados com máxima urgência corresponde a cerca de 13% e o *backlog* é, em média, de 2 semanas verificando-se fábricas com 4 semanas. Os custos do pessoal próprio representam cerca de 27% dos custos de manutenção. Os trabalhos com mão-de-obra contratada 46% e o custo da reposição dos materiais em armazém representam 27% dos custos de manutenção. A contratação de serviços para execução de trabalhos à hora representa cerca de 40% dos diferentes tipos de contratação, os anuais 30% e os integrais 10%. Os especialistas que requerem maior quantidade horas de formação, segundo o inquérito atrás referido, são os de electrónica e automatismos e os de instrumentação. Cerca de metade das unidades industriais inquiridas praticam a polivalência em algumas especialidades e a experiência profissional média é de 14 anos.

1.7.2 – O *insourcing* e o *outsourcing*

Segundo Prahalad e Hamel (1990) o conceito de *insourcing* está, antes de mais, associado ao *core competencies* que representam os pontos fortes e os conhecimentos que permitem que uma empresa possa ser mais competitiva.

Estas competências, segundo Rothery e Robertson (1995), enfatizam o conhecimento e a vantagem competitiva de uma organização, no médio e longo prazo, derivando da sua capacidade de produzir com a qualidade requerida a um custo mais baixo e mais rapidamente que a concorrência. Estas competências nucleares permitem uma constante inovação bem como a aplicação da capacidade desenvolvida por uma empresa no seu produto/serviço e na sua capacidade tecnológica nos diferentes pontos específicos da cadeia de valor.

O conceito de *insourcing*, oposto ao de *outsourcing*, pode ter dois significados. Por um lado o *insourcing* é caracterizado pela retenção de serviços no seio da empresa através da criação ou da manutenção de um ou de mais departamentos com efectivos humanos próprios a *full-time*. Por outro lado pode também significar, segundo o Web site Laboratório de Gestão consultado em 01.12.06, o estabelecimento de uma unidade semi-independente que presta serviços aos restantes departamentos dentro da empresa onde os preços e as condições contratuais são acordadas entre os requisitantes e a unidade prestadora do serviço. No caso particular da actividade da manutenção industrial podem existir diferentes factores que justifiquem a opção do *insourcing* dos serviços de manutenção entre as quais se refere a razão entre a importância na cadeia de valor (*know-how* por exemplo) e o custo dos serviços. O *insourcing* exige, normalmente, uma estrutura mais ou menos rígida onde se enquadram o *staff* e os executantes de cada um dos serviços prestadores de manutenção. A figura 1.28 apresenta um exemplo de uma estrutura típica dos anos 80.

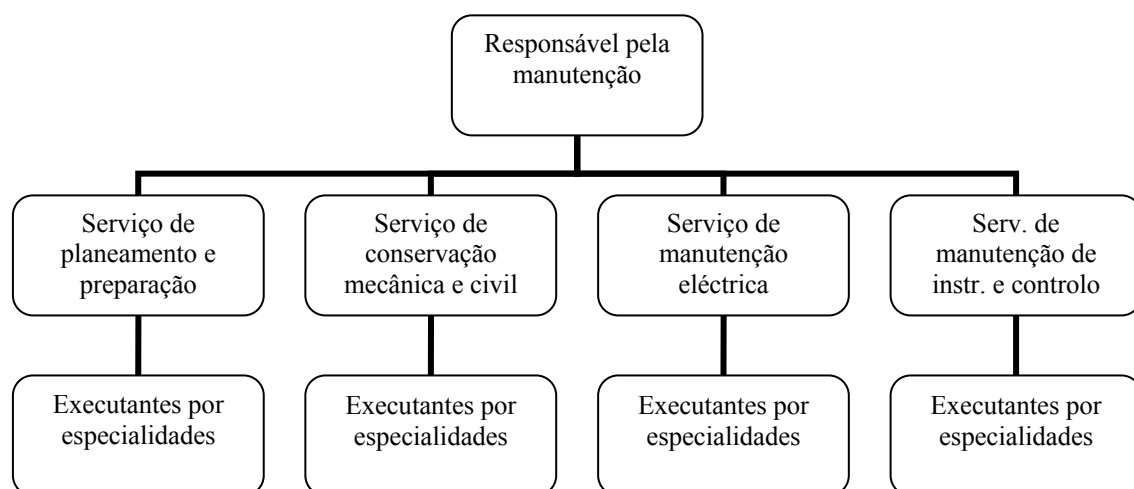


Fig. 1.28 – Estrutura típica dos serviços de manutenção nos anos 80

Santos (1998) define *outsourcing* como um processo através do qual uma organização (contratante), em linha com a sua estratégia, contrata outra (subcontratado), na perspectiva de um relacionamento mutuamente benéfico, de médio ou longo prazo, para desempenho de uma ou várias actividades que a primeira não pode ou não lhe convém desempenhar e na execução das quais a segunda é tida como especialista. Soininen (1995) localiza a origem do *outsourcing* no início da década de 60 quando as organizações começaram a contratar as suas necessidades de processamento de dados a empresas externas devido à especificidade das Tecnologias de Informação (TI) e ao seu elevado custo de investimento. Gupta e Gupta (1995) questionam o *outsourcing*. Porter (1985) sustenta, à semelhança de Treacy e Wiersema (1997), que “ser tudo para todos é uma receita para a mediocridade estratégica com um desempenho abaixo da média o que significa que a empresa não tira qualquer vantagem competitiva”. Para além da definição apresentada ressalta considerar que o *outsourcing* é desenvolvido através de um processo que engloba um estudo prévio cuidado, a tomada de decisão, a implementação e o seu controlo. Segundo a teoria dos custos de transação apresentado por Williamson (1979) o *outsourcing* gera, normalmente, custos de coordenação mais elevados devido ao contratante ter de controlar o desempenho do contratado. Estes custos podem revelar-se particularmente elevados quando o contratante não tem outras alternativas mas, por outro lado, o *outsourcing* conduz a uma maior flexibilidade operacional permitindo uma redução nos custos fixos de manutenção. Rumo (2002) refere que fazer ou comprar serviços de manutenção resulta de um balanço entre o *insourcing* e o *outsourcing*. Em Portugal é também possível através de figuras jurídicas adequadas promover ACE's – Acordos Complementares entre Empresas como o que ocorreu a partir de 2001 na manutenção das fábricas do grupo Portucel Soporcel.

1.7.3 – O *bestsourcing* - *insourcing* and *outsourcing* mix

Entenda-se pelo conceito de *bestsourcing* como o meio-termo entre o *insourcing* (integração) e o *outsourcing* (desintegração) e, por isso, é caracterizado pelo *mix* dos dois conceitos. A integração vertical no seu sentido literal, segundo Davies (1997), ocorre quando uma “empresa” abarca dois ou mais estádios de produção na sua cadeia de valor (ou a totalidade). Inversamente, a desintegração vertical ocorre quando diferentes “empresas” são responsáveis pela execução de actividades distintas.

Em termos estratégicos, a decisão de integrar ou desintegrar verticalmente as actividades da cadeia de valor referidas por Porter (1996) corresponde, essencialmente, ao grau de internalização ou externalização dessas mesmas actividades. A diminuição do grau de integração vertical (ou desintegração) deve contribuir de forma clara para reforçar a vantagem competitiva previamente identificada, devendo esse reforço ser plasmado a longo prazo, na melhoria do diferencial na respectiva rentabilidade em relação à média do sector. Para tal, dever-se-ão identificar quais as actividades nucleares que fazem parte da cadeia de valor, verificando qual o seu impacto no desempenho dos seus factores críticos de sucesso, tendo nomeadamente em consideração a capacidade de controlo disponível no quadro de cada processo particular. À luz de tal entendimento a análise a empreender deverá revestir-se um carácter dinâmico. Na verdade a cadeia de valor das actividades das empresas desde a selecção da matéria prima até à disponibilização do produto acabado devem ser estrategicamente definidas quais as demarcações entre as actividades que a própria empresa irá executar e controlar e as actividades que serão executadas e(ou) controladas por outras empresas.

Neste sentido Cox (1996) sugere, genericamente que qualquer discussão em relação a este aspecto deve começar com uma apreciação do trabalho de Williamson (1979), sobre a análise dos custos de transacção, onde se deve atribuir ênfase enquanto determinantes essenciais da estrutura de custos da empresa. Para Aoki (1990), no entanto, assume uma perspectiva em que a pertinência desta interpretação prende-se com o facto de olharmos para as empresas, não como objectos estáticos inseridas em estruturas de mercado, mas como organizações flexíveis e dinâmicas, cujas estruturas internas e fronteiras externas podem mudar em conformidade com as oportunidades e as circunstâncias que o mercado apresenta. Sob esta óptica, a empresa é, no limite, concebida como uma estrutura de coordenação, na qual a decisão estratégica fundamental ao nível da subcontratação decorre, em primeira instância, da eficácia relativa das alternativas de contratação, tanto no plano interno como a nível externo. Não obstante é necessário ter em conta que a expressão “desintegração vertical de processos”, ou apenas “desintegração vertical”, refere-se à acção de redução da dimensão da cadeia de actividades de uma dada empresa, tanto ao nível administrativo (redução do número de níveis hierárquicos de uma estrutura organizacional) como ao nível da produção, por meio da redução e/ou eliminação de alguns processos produtivos ou de actividades de apoio à produção (o caso da manutenção).

Assim, o elemento central de validação deste conceito descritivo de desintegração vertical encontra-se na expressão “redução da dimensão da cadeia de actividades” de uma empresa, deixando o conceito de desintegração vertical em aberto tanto em termos de acções precedentes (acções que, se adoptadas, levam à redução da dimensão da cadeia de actividades) quanto em termos de acções consequentes (acções que se impõem como intrinsecamente decorrentes da redução em apreço).

A eliminação de alguns postos de trabalho, por exemplo, pode ser interpretada como acção consequente de medidas visando a melhoria de métodos e processos, sem implicar necessariamente redução da dimensão da cadeia de actividades da empresa ou, por outro lado, como acção precedente e determinante de ulteriores acções que levarão a esta redução.

Um conceito mais geral de desintegração vertical de processos tem em conta que a cadeia de valor de uma empresa envolve uma estrutura de coordenação que faz dessa cadeia um “processo integrado” segundo Beamon (1998) ou “rede de relacionamentos didácticos de permuta (...) entre clientes e fornecedores” segundo Cox *et al* (2001).

No entanto, na visão de Kirzner (1973), uma empresa envolve-se em transacções que produzem lucro, sendo bem sucedidas aquelas que souberem criar para si uma base de competências e de conhecimentos que lhes permita ocupar uma posição sustentável dentro de uma cadeia de valor, propiciando, em consequência, a obtenção de uma margem regular, suficiente e aceitável de lucro. Tal desiderato pode ser alcançado por meio dos mecanismos de redução dos custos de coordenação dos actuais métodos de produção ou melhoria da distribuição e venda, donde resulte uma reconfiguração dos custos associados a tais actividades.

Por seu turno Amato (1994) defende a ideia de que “a desintegração vertical tem como consequência a reestruturação das relações contratuais da empresa com seus fornecedores”, sendo possível admitir que a desintegração vertical de uma cadeia de valor é, basicamente, uma acção de reconfiguração das fronteiras entre as estruturas internas de uma empresa e o seu ambiente externo, não perdendo de vista a cadeia de valor que se assume como de matriz inicial. Do nosso ponto de vista, um conceito mais robusto de desintegração vertical exige, contudo, que se tome em consideração o conceito de cooperação.

Neste sentido, a identificação de actividades a externalizar não se deve basear apenas em critérios económico-financeiros, devendo ser feita no quadro de uma análise das potencialidades do *outsourcing* estratégico. Com efeito, o *outsourcing* estratégico permite que cada empresa se especialize num número restrito de competências nucleares, na certeza de que os restantes parceiros são detentores das competências complementares, como por exemplo os sistemas de informação (IS) referidos por Lacity e Hirschheim (1993). Assim, o esforço a empreender terá de ser orientado no sentido de uma sólida construção dos factores críticos de sucesso do produto ou serviço final, segundo uma filosofia que privilegia a utilização optimizada dos recursos, evitando investimentos redundantes e potenciando, em concomitância, sinergias de carácter estratégico decorrentes da própria cooperação.

Da análise precedente que se sintetiza na figura 1.29 pode afirmar-se que a prática de *outsourcing* estratégico por uma empresa pode ser enquadrada, segundo Freire (1997), em função das suas vantagens competitivas potenciais e da sua vulnerabilidade estratégica à externalização o que depende do grau de cada uma destas variáveis influi, numa classificação reduzida até elevada, a estratégia da empresa.

		Vulnerabilidade estratégica à externalização		
		Reduzida	Média	Elevada
Vantagem Competitiva Potencial	Elevada			Produção interna
	Média		Outsourcing estratégico	
	Reduzida	Comprar no mercado		

Fig. 1.29 - Matriz de enquadramento da utilização do *outsourcing* estratégico

De acordo com a ideia expressa por Porter (1996) de que “cada actividade de valor engloba tecnologia, sob a forma de conhecimentos, procedimentos, técnicas envolvidas no processo ou tecnologias incorporadas no equipamento e, ainda, de que a criação de valor é um dos propósitos inerentes à actividade empresarial”, importará então saber quais serão as principais determinantes tecnológicas que podem levar à subcontratação.

Dunn (2002) desenvolveu um modelo de apoio à decisão das actividades a contratar, ou não, em regime de *outsourcing* suportado por uma matriz de duas entradas, apresentada no quadro 1.11, em que uma das dimensões se avalia através da opção de âmbito estratégico e na outra dimensão é tomado em consideração o contributo específico da actividade na competitividade.

As actividades que são de importância estratégica para a empresa e que estando a ser executadas em moldes competitivos não requerem nenhuma intervenção específica (quadrante I); as actividades que são de importância estratégica para a empresa mas que não estando a ser executadas de modo competitivo carecem de uma decisão ao nível da reengenharia (quadrante II); as actividades que não sendo estratégicas e não estando a ser executadas de modo competitivo configuram a situação típica do que deve ser contratualizado por *outsourcing* (quadrante III); finalmente, as actividades que não sendo estratégicas estão a ser executadas de modo competitivo a decisão a tomar passa pela análise e discussão da situação concreta (quadrante IV). Trata-se, como se vê através da apresentação feita na quadro 1.11, de uma matriz quadrada 2x2.

Quadro 1.11 – Modelo de apoio à decisão

	Estratégico	Não estratégico
Competitivo	(I) <i>Insourcing</i> (como está)	(IV) Carece de discussão
Não competitivo	Reengenharia (II)	<i>Outsourcing</i> (III)

Os motivos que têm justificado ao recurso do *outsourcing* na manutenção industrial são devidos a razões que se prendem, na grande maioria das situações, com a flexibilidade por parte da organização contratante, por razões de necessidade de uma elevada especialização requerida pontualmente ou, pelo contrário, com a execução sistemática de tarefas muito pouco especializadas.

A este propósito Leite e Pereira (2003) referem-se à contratação de empresas externas para os serviços de manutenção e consideram que estas são úteis desde que permitam reduzir os custos sem que aumentem os riscos inerentes a uma manutenção executada de modo deficiente ou incompleta.

O quadro 1.12 apresenta a síntese do processo de decisão proposto pelos autores atrás citados partindo da importância dos equipamentos no processo produtivo e das respectivas acções de manutenção sobre aqueles.

Quadro 1.12 – Processo de decisão na adjudicação de serviços externos

Equip. ^{tos} e acções de manutenção	<i>Know-how</i> existente	Menor custo	Decisão de contratar ou não
Crítico(s)			
Sim	Interno	Interno	Não
	Externo	-	Talvez*
Não	Interno	Interno	Não
	Externo	Externo	Sim
	Externo e Interno	Interno	Não
	Externo e Interno	Externo	Sim

* Situação a avaliar periodicamente

As formas de contratação de serviços de manutenção consideradas pelos autores atrás referidos dizem respeito aos seguintes domínios:

- Mão-de-obra
- Contratos
- Empreitadas
- Consórcios.

A contratação de mão de obra é feita quando se pretende fazer face a um “pico” pontual de trabalho para o qual os serviços de manutenção não estão, nem devem estar, dimensionados assegurando-se, assim, a diferença entre o nível de ocupação médio do pessoal e esse(s) “pico(s)”.

O contrato de manutenção faz-se quando se pretenda assegurar a manutenção de equipamentos comuns e ao mesmo tempo com determinada especificidade. As empreitadas devem dizer respeito a trabalhos de manutenção ocasionais com certa dimensão e, ainda, a trabalhos de melhoramento e alterações bem definidos. Recorre-se ao consórcio quando a estrutura de custos da manutenção se apresenta com valores demasiado elevados; quando a capacidade técnica requerida é elevada e se conseguem acordos com parceiros que possuam essas capacidades. Neste caso deve manter-se o controlo sobre as acções e a gestão da manutenção, pelo que o controlo e a avaliação contratual se deve fazer através de indicadores de seguimento (KPI's) previamente estabelecidos.

1.8 – As qualificações e os conhecimentos dos recursos

Sena (2001) refere que o gestor da manutenção deve centrar as suas actividades na organização, na gestão e liderança dos recursos humanos, assim como, nas *interfaces* da função. Assim, na gestão dos recursos humanos ele deve definir as áreas de intervenção, de responsabilização, a autoridade vertical, a organização adaptada aos recursos existentes e a subcontratar, o dimensionamento e especialização das equipas de manutenção, o acesso à informação técnica e profissional, a integração nos objectivos da produção e, finalmente, proceder no sentido de fomentar a colaboração entre a função manutenção e as outras funções da empresa. Tsang (2002) afirma que para além dos conhecimentos e o treino técnico específico é também necessário o aprofundamento de matérias mais genéricas relacionadas, por exemplo, com o valor dos produtos e serviços.

Às responsabilidades superiores de gestão e técnicas, intermédias de supervisão e ainda as específicas de execução devem corresponder as consequentes e requeridas qualificações dos recursos humanos na função manutenção. A formação é fundamental para o bom desempenho das funções e para o desenvolvimento profissional. A actividade da manutenção industrial impõe, também, um conjunto de qualidades e características de natureza pessoal exigindo dos seus participantes, para além das qualificações, um elevado grau de criatividade, tenacidade, espírito de sacrifício, disponibilidade pessoal, interacção Humana e resistência ao *stress*.

Apesar de nos últimos anos verificar-se uma evolução na formação na área da manutenção não existem em Portugal e de resto na grande maioria dos países europeus entidades que ministrem especificamente cursos na área da manutenção industrial. Existem sim cursos superiores, intermédios e secundários nas áreas da mecânica, electricidade e instrumentação e respectivas variantes onde são ministradas disciplinas teóricas e práticas, por vezes de opção, que incluem módulos e temáticas associadas directamente à fiabilidade e à manutenção dos equipamentos. Salientam-se nesta matéria alguns nomes e respectivas entidades públicas que têm contribuído para o desenvolvimento do ensino e da formação em Portugal na área da manutenção industrial e da sua gestão. Entre outros salientam-se em particular:

O Prof. Dr. Luis Andrade Ferreira da Faculdade de Engenharia do Porto; o Prof. Dr. José Narciso Marat-Mendes da Universidade Nova de Lisboa – Faculdade de Ciências e Tecnologia e o Prof. Dr. Filipe José Didelet Pereira da Escola Superior de Tecnologia do Instituto Politécnico de Setúbal. Também o Dr. Rui Manuel Assis Monteiro merece destaque no capítulo da divulgação e ensino da tomada de decisões de manutenção.

Também a APMI – Associação Portuguesa de Manutenção Industrial tem promovido ao longo do tempo a divulgação da importância da manutenção no contexto industrial através de variados seminários e acções de informação e de formação. Destaca-se aqui pelo seu empenho e dedicação na área da manutenção industrial o saudoso Sr. Eng. Adriano Duque Monteiro Leite. Correia (2000) faz referência ao exemplo da formação profissional desenvolvida e praticada na fábrica da AutoEuropa na região de Palmela. Sena (2001) refere que no âmbito da cooperação e certificação europeia é proposto por Franlund (1994) a implementação do certificado europeu em gestão da manutenção. Neste sentido a EFNMS – *European Federation of National Maintenance Societies*, segundo Klijn (2004), certifica desde 1994 especialistas na gestão da manutenção e desde 2001 especialistas de manutenção. Os três níveis de qualificação atribuídos pela ETC - *European Training Committee* através do relatório “prCEN/TR 15628” de 23.04.07 são os seguintes:

- Técnico europeu de manutenção;
- Supervisor europeu de manutenção;
- Gestor europeu de manutenção.

Nos últimos anos devido às necessidades de flexibilização e do acréscimo da produtividade da função manutenção e dos respectivos serviços no contexto operacional surge a necessidade da polivalência para além da especialização dos recursos Humanos. De acordo com Pinto, C. V. (2002) os serviços de manutenção devem possuir “generalistas” dotados de polivalência tecnológica na primeira linha de actuação que devem ser apoiados na retaguarda por “especialistas” que intervenham no diagnóstico e também nas reparações que pela sua natureza e complexidade possam exceder as competências e os conhecimentos dos “generalistas”.

Por outro lado com a evolução e possibilidade da utilização de sensores e sistemas de diagnóstico *on-line* e *off-line* aliados, ainda, ao desenvolvimento tecnológico dos equipamentos conduz à necessidade de alterações nas práticas de manutenção e, por consequência, a exigência de maiores conhecimentos no *interface* Homem-máquina. Face aos pressupostos atrás referidos os operadores (técnicos) executantes da manutenção e os que facilitam as suas intervenções podem ser englobados nas seguintes categorias de competências:

- Operadores de inspecção e diagnóstico;
- Operadores de reparações, substituições, lubrificações, calibrações e ensaios;
- Operadores de preparação e planeamento de trabalhos;
- Operadores de métodos de trabalho;
- Operadores de logística.

No ensino da engenharia tem-se verificado cursos superiores e cursos médios menos especializados mas mais abrangentes como o de electromecânica e outros de pós-graduação que aglutinam a instrumentação e a qualidade com a manutenção industrial. No entanto ao nível do ensino secundário são os cursos profissionais e as acções de formação vocacionadas para o desenvolvimento das competências específicas promovidas, na maior parte dos casos, pelas próprias empresas produtivas interligadas ou não com as Escolas e as Universidades as que mais têm contribuído para a criação de valor dos recursos Humanos da manutenção industrial. Também contrariamente ao que poderia ser esperado não se tem verificado, salvo excepções, um investimento sério por parte das empresas prestadoras dos serviços de manutenção nos recursos Humanos de que necessita.

1.9 – Os sistemas de informação

Os sistemas de informação têm importância crescente para a função manutenção. Segundo Sena e Pereira (2002) poderão ser identificados três tipos de sistemas de informação com interesse para a manutenção:

- Os sistemas informatizados de gestão da manutenção;
- Os sistemas de controlo de condição;
- As bases de dados de fiabilidade e manutenção.

De acordo com Pereira e Viegas (2003) é preciso evitar alguns contratempos na aplicação dos sistemas informáticos de apoio à manutenção: alguns utilizadores podem ser tentados a utilizar esses meios para tratar os seus problemas de uma forma independente dos restantes sectores da empresa.

Cabral (2004b) faz referências à organização do parque industrial, às ordens de trabalho como motor do sistema de gestão, ao planeamento e programação dos trabalhos, aos relatórios e ao histórico de avarias e à gestão dos materiais. Finalmente o autor atrás referido questiona acerca das vantagens e inconvenientes da utilização de um sistema ERP – *Enterprise Resource Planning* ou de uma aplicação informática independente para os serviços de manutenção. Ng *et al* (2002) referem que a implementação de um sistema ERP representa aproximadamente 25% do custo de manutenção e o seu *upgrade* 25% a 33% do custo de implementação.

Pinto, J. (2006) refere que as empresas necessitam de adoptar procedimentos formais de planeamento e controlo de operações (PCO). A solução não está na compra de um sistema global de gestão do tipo ERP mas na definição e posterior implementação de um sistema PCO. Com frequência encontram-se empresas que se vêm na necessidade de desenvolverem paralelamente as suas aplicações em MS-Excel, MS-Access ou MS-Project para efectivamente gerirem as suas operações. Acrescenta o autor atrás citado que o modelo de referência da APICS – *Association for Operations Management* com grande aplicação prática para alguns dos principais sistemas de informação é o SAP – *Systems Applications and Products in Processing Date*.

Este modelo é constituído por três níveis hierárquicos de planeamento: longo prazo; médio prazo e curto prazo.

Muito do conhecimento e da experiência conquistada no âmbito da programação e controlo de operações ainda se encontra residente na indústria e em alguns serviços não sendo fácil encontrar literatura válida de apoio neste domínio. Os sistemas de informação para gerir o *shop floor*, ao contrário do que se passa no planeamento a médio prazo no qual o MRP – *Materials Requirements Planning* (equipamento) e posteriormente o ERP (empresa), são muito limitados e carecem de funcionalidades efectivas para apoiar a programação e o controlo das operações.

O CMMS - *Computerized Maintenance System* também conhecido por EAM – *Enterprise Asset Management* em en.wikipedia.org consultado em 21.05.07 é um sistema de informação e gestão das operações de manutenção.

Roy (1998) considera que o sistema de gestão da manutenção totalmente integrado (CMMS) actua como recurso centralizado de dados respeitantes ao equipamento, às ordens de trabalhos, à manutenção preventiva, ao histórico, à aquisição de materiais, às instruções de segurança, ao controlo dos custos e ao orçamento.

Strub (2003) refere a importância do CMMS na eficiência e eficácia no planeamento e na programação das operações de manutenção para maximizar o *uptime* dos equipamentos produtivos, o respectivo *workload* requerido e os componentes ou equipamentos. Os diferentes *softwares* que suportam estes sistemas tratam tipicamente os seguintes aspectos:

- Ordens de trabalho;
- Manutenção preventiva;
- Gestão dos equipamentos;
- Gestão e controlo de materiais.

A título de exemplo referem-se a seguir alguns entre as centenas de diferentes *softwares* usados nos CMMS's com variadas utilizações e capacidades: MicroMain CMMS; MainTrac CMMS, SPC; eMaint; InfoMant; Mantra CMMS; Maintenance Assistant.

Carvalho *et al* (2005) reportam um caso de implementação de um processo de planeamento e controlo da manutenção (PCM) através da “ferramenta” SAP/R3 integrada num sistema estratégico de gestão para toda a companhia petrolífera Petrobras S.A. aprovada em 1999 e em operação desde 2004. O SAP - *System Applications and Products in Processing Data* empresa alemã criada em 1972 é, ainda hoje, *leader* mundial na tecnologia da informação e da gestão empresarial. O R3 sendo o seu principal produto é caracterizado pelo tempo real das três dimensões disponibilizadas através do banco de dados; das aplicações e dos seus *interface* nos diferentes cenários e, também, por um *software* do tipo ERP. O sistema sendo modular dedica, entre outros, o módulo PM às operações de manutenção, o módulo MM à gestão dos materiais, o módulo PP às actividades da produção, o QM à qualidade e, finalmente, o módulo HR aos recursos Humanos. A Portucel Industrial, hoje Grupo Portucel Soporcel, onde decorreu a parte experimental deste trabalho descrita no capítulo 5 também iniciou a operacionalização do sistema integrado de gestão da manutenção e do aprovisionamento (projecto SIGMA) através do SAP/R3 no ano de 1999 com os módulos MM (compras e materiais) e PM (gestão da manutenção).

1.10 – Esquema do trabalho

O objectivo deste trabalho é o enunciado no sub-capítulo 1.2. Por isso o modelo geral centra-se no aumento da fiabilidade operacional e na redução dos custos operacionais obtidos através de modelos a aplicar no domínio da gestão da manutenção industrial. Dimensiona-se em simultâneo e direccionam-se mais eficazmente os recursos operacionais internos (*insourcing*) e externos (*outsourcing*) necessários diariamente ou pontualmente ao processo da condução (Produção), da reparação e da substituição dos equipamentos minimizando-se também as interrupções da produção.

Para se atingir o objectivo proposto é necessário determinar em primeiro lugar os factores intrínsecos e extrínsecos que provocam o mau funcionamento e as avarias dos equipamentos. Em segundo lugar conhecer os intervalos de tempo entre avarias assim como determinar a adequação das tarefas de manutenção e as competências necessárias dos recursos (equipas do *front office*) internos e(ou) externos de forma a permitir a sua execução em tempo útil nas diferentes circunstâncias operacionais. Finalmente considera-se que o modelo usado conduz a um valor acrescentado para a Organização.

Assim, ao longo do capítulo 1 fez-se a apresentação do trabalho e a introdução das temáticas relacionadas com o contexto operacional industrial. Caracterizaram-se os aspectos considerados relevantes ao nível da produção e dos serviços e, por isso, devem ser entendidos como um enquadramento ao trabalho e simultaneamente uma introdução ao capítulo subsequente.

No capítulo 2 definem-se os principais conceitos envolventes ao trabalho e que lhes estão directa ou indirectamente associados apresentado-se por isso o conceito do valor na actividade da manutenção e a sua gestão ao nível dos equipamentos e das equipas. Os restantes conceitos abordados nomeadamente os que dizem respeito aos custos e à previsão das ocorrências futuras são, respectivamente, consequências e antevisões associadas aos principais conceitos atrás referidos. No final do capítulo 2 faz-se ainda uma revisão e, simultaneamente, uma súmula histórica bibliográfica.

No capítulo 3 são apresentados os modelos chamados de parciais usados no trabalho. O dos riscos proporcionais; o das filas de espera e o das oportunidades de subcontratação aplicáveis respectivamente sem e com paragens planeadas dos equipamentos para, em conjunto, minimizarem os custos e maximizar-se a disponibilidade operacional.

No capítulo 4 faz-se uma descrição do caso de estudo através da apresentação do contexto operacional e a caracterização dos dados do processo da manutenção nas situações de *insourcing* até à década de 90; de *outsourcing* no final do século XX e no início do século XXI. Analiza-se as situações e os indicadores e tiram-se conclusões.

Ao longo do capítulo 5 faz-se a aplicação experimental dos modelos parciais apresentados no capítulo 3. Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos no caso de estudo, faz-se a sua validação e a análise dos resultados. Tecem-se conclusões.

O capítulo 6 refere várias propostas de (re)organização do processo de manutenção dos equipamentos com base nos resultados obtidos no contexto operacional em estudo.

Finalmente no capítulo 7 para além da resenha ao trabalho efectuado é apresentada a análise dos resultados obtidos, as suas conclusões e são ainda referidas novas perspectivas ao desenvolvimento da investigação na área operacional em estudo.

2 – Os conceitos gerais de interesse para o trabalho

No início deste capítulo é associado o conceito de valor e a sua gestão aos serviços prestados pela manutenção. A seguir, no subcapítulo 2.1.2, apresentam-se alguns dos *value drivers* específicos da percepção do valor pelo cliente e também aplicáveis na actividade da manutenção. Depois caracterizam-se as funções dos equipamentos, os principais modos de falha, a evolução dos processos de falha e, finalmente, o risco de avaria dos equipamentos. Também se apresenta, respectivamente, nos subcapítulos 2.1.4 e 2.1.5 uma abordagem à previsão da fiabilidade e às ocorrências futuras assim como à segurança, aos custos e à qualidade dos produtos. Em seguida, no subcapítulo 2.2, aborda-se a temática associada à gestão dos equipamentos e referem-se os factores que influenciam a fiabilidade, a criticidade e a previsão das consequências das avarias. No subcapítulo 2.2.3 faz-se uma abordagem ao modelo dos riscos proporcionais e no 2.2.4 referem-se os tipos de decisão na gestão dos equipamentos. A seguir no subcapítulo 2.3 analisa-se a temática relacionada com a gestão das equipas de manutenção e o modelo das filas de espera. Apresenta-se ainda nos subcapítulos 2.4, 2.5 e 2.6 os aspectos que influenciam os custos operacionais e o nível de manutenção adequado, a gestão dos circuitos de informação e a importância da previsão das ocorrências futuras. Finalmente, no subcapítulo 2.7, faz-se um resumo histórico bibliográfico do processo de manutenção industrial associando-o também aos modelos usados neste trabalho.

2.1 – A gestão da manutenção e a criação de valor

2.1.1 – A percepção do valor, a sua gestão e a qualidade dos serviços

Segundo Sena (2001) os gestores de manutenção estão sujeitos a cada vez mais diversos desafios de entre os quais se destacam os seguintes mais relevantes:

- A selecção de estratégias e técnicas de manutenção de fácil e rápida aplicação;
- O cumprimento das expectativas crescentes da administração das empresas;
- A transformação da manutenção num factor de qualidade e de valor para a empresa;
- A participação da função manutenção num sistema integrado da empresa;
- A optimização dos custos de manutenção numa perspectiva de os transformar em centros de lucro (criação de valor).

A norma AFNOR X60-000 de 01.05.2002 respeitante às funções da manutenção na empresa apresenta, entre outros, os seguintes factores de preocupação do gestor de manutenção: a empresa; o pessoal da manutenção; as avarias; os trabalhos de manutenção; a gestão de sobressalentes; os orçamentos e os custos; a política de manutenção; a informática e a normalização. Nesta perspectiva Villemeur (1991) define a dependabilidade como um elemento aglutinador na gestão pelo valor ou *Value Management* na actividade da manutenção e caracteriza-a como a uma ciência que compreende o conhecimento, a avaliação, a previsão, a medição e o controlo das falhas.

Nos últimos anos as Associações Europeias de análise do valor têm-se envolvido, através de programas de apoio da UE, em projectos destinados a aprofundar e a divulgar a sua análise. Os trabalhos realizados no âmbito do estudo e normalização de conceitos e no âmbito da aplicação permitiram alargar e enriquecer o conteúdo deste método dando-lhe uma nova dimensão. O campo de aplicação da análise do valor deixou de ser apenas o da melhoria pontual de um produto ou de um serviço para uma forma de encarar a gestão de uma empresa. O conceito de “valor” apresentado pela expressão 2.1 tem um significado muito concreto e representa relação entre a satisfação das necessidades e os recursos utilizados para esse fim.

$$\text{Valor} = \frac{\text{Satisfação das necessidades}}{\text{Recursos}} \quad (2.1)$$

A aplicação desta noção à globalidade de uma empresa pressupõe que o valor se tornou um critério de decisão e a sua actividade deve ser conduzida de modo a otimizar esta relação. Nesta perspectiva os responsáveis de uma empresa (ou instituição) têm de ter como referência essencial o valor percebido pelas várias partes interessadas na actividade da empresa: accionistas, clientes, colaboradores, fornecedores, prestadores de serviços, sociedade em geral, administração pública, etc. Nesta visão, o conceito de valor aplica-se também à prestação interna de serviços e por consequência à noção de cliente interno. Esta abordagem dá ênfase aos compromissos necessários para a satisfação de uma necessidade e os recursos que estamos dispostos a despendar para, também segundo Erquiaga (2003), se criar valor.

O valor é um conceito relativo e por isso depende, pelo menos, das circunstâncias de lugar, de momento e da necessidade.

Esta extensão da análise do valor deu origem à gestão pelo valor ou *Value Management* que amplia consideravelmente o campo de aplicação inicial. Passámos da aplicação de um método a produtos (ou serviços) para um estilo de gestão. Rich e Mathias (2000) caracterizam quatro tipos de análises de valor. Com este tratamento metodológico pretende-se desenvolver dentro das empresas uma atitude de melhoria contínua recorrendo às várias ferramentas de gestão disponíveis de uma forma criativa e sem esquemas rígidos e predefinidos de actuação.

A gestão pelo valor surge como um estilo de gestão, particularmente orientado para motivar pessoas, desenvolver competências e promover as sinergias e a inovação, tendo como objectivo a maximização do desempenho global de uma organização, utilizando como critério de apreciação o conceito de valor. A gestão deve orientar-se para a satisfação dos clientes, externos e internos, expressa em termos de funções. A gestão pelo valor fornece as ferramentas para identificar essas funções e estabelecer os níveis de desempenho desejados.

A análise do valor é um método aplicado a um problema concreto à melhoria ou concepção de um novo produto, à melhoria de um processo ou a optimização de um procedimento. É um método que sistematiza a forma de tratar um problema, recorrendo a conceitos básicos de suporte como o valor e a função e define um plano de trabalho específico que visa envolver todos os aspectos que influenciam esse problema.

O conceito de valor é aqui introduzido por se considerar que este também se exprime através dos modelos parciais usados neste trabalho. Um deles permite a partir da identificação dos problemas (avarias) conhecer as causas e as circunstâncias operacionais em que podem ocorrer (risco) com vista à satisfação de uma necessidade (fiabilidade operacional). Outro permite o mais correcto dimensionamento dos recursos (equipas) direccionados para o atendimento das principais causas dos problemas.

A figura 2.1 apresenta de acordo com a Web site www.cev.pt/info-tecnica uma perspectiva sistémica que pode ser obtida através de uma política da gestão do valor e que resulta do *feed-back* conducente à melhoria contínua do tipo *Plan-Do-Check-Act*.

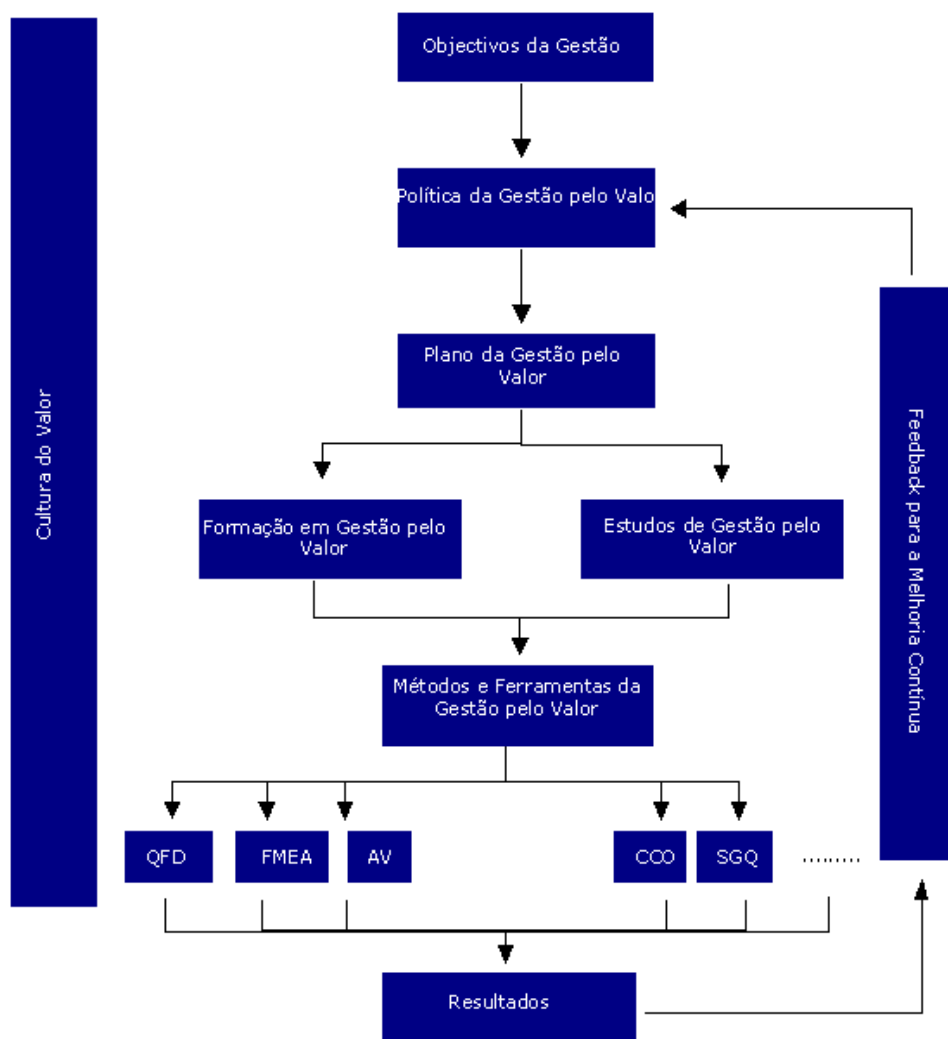


Figura 2.1 – Perspectiva dada pela gestão do valor

A gestão do valor e pelo valor retém os conceitos fundamentais das funções e ultrapassa a perspectiva da intervenção pontual passando a uma abordagem global das actividades e problemas de uma empresa ou instituição com recurso a diferentes métodos e ferramentas. Estas são usadas por exemplo na concepção para fabricação e montagem (CFM) assim como no FME(C)A - *Failure Mode Effect (Criticality) Analysis* isoladamente ou de modo integrado. A gestão pelo valor é uma visão mais aberta e uma forma de encarar a gestão das empresas que tem uma perspectiva da optimização permanente do valor. Ela distingue-se de outras abordagens de gestão pelo facto de incluir simultaneamente métodos e ferramentas que normalmente não se encontram juntas.

Assim, a gestão pelo valor agrupa no interior de um mesmo sistema de gestão os seguintes aspectos:

- O estilo de gestão;
- A dinâmica humana positiva;
- Considerações sobre a envolvente interna e externa;
- A utilização eficaz de métodos e de ferramentas.

Muito sinteticamente apresenta-se de seguida o que se entende por cada um dos elementos atrás referidos:

- O estilo de gestão

O estilo característico da gestão pelo valor associa várias qualidades essenciais de modo a garantir a aplicação dos conceitos de valor de função. Estas qualidades e conceitos incluem enfatizar a importância do trabalho em equipa e a comunicação; a focagem naquilo que as coisas fazem e não no que são (abordagem funcional); uma atmosfera que estimule a criatividade e a inovação referida por Freeman (1982); a focagem nas exigências dos clientes e uma exigência de avaliação quantitativa das opções de modo a permitir a sua comparação objectiva. Por outro lado, é determinante o envolvimento da gestão num processo de implementação da gestão pelo valor. A gestão tem de definir objectivos claros, decidir sobre o processo, atribuir meios e fornecer critérios de avaliação em função dos objectivos.

- A dinâmica humana positiva

A componente humana é essencial e constitui o recurso mais valioso de uma empresa. A gestão das capacidades técnicas de comunicação e do comportamento são indispensáveis para o êxito de qualquer projecto. Também na gestão pelo valor o factor Humano constitui um elemento chave para o sucesso. Uma das características intrínsecas da gestão pelo valor é o recurso ao trabalho de equipas pluridisciplinares.

Na gestão pelo valor é também necessário ter em conta os seguintes aspectos:

- Trabalho em equipa: Resultante da motivação dos indivíduos para o trabalho em

conjunto direccionado para soluções comuns e evitando confrontações;

- Satisfação: O reconhecimento do mérito das contribuições individuais e dos resultados do trabalho em equipa;
- Comunicação: A aproximação dos indivíduos através da melhoria da comunicação entre eles;
- Motivação para a mudança: O desafio com o muitas vezes presente “status quo” de forma a provocar mudanças benéficas;
- Apropriação dos resultados: O reconhecimento dos resultados obtidos pelos responsáveis e os intervenientes na implementação do projecto.

- Considerações sobre a envolvente interna e externa

Qualquer processo de inovação e transformação de uma empresa deve ter em conta o contexto interno e externo. Para a gestão pelo valor é essencial conhecer o contexto em que se processa uma acção pontual e uma intervenção continuada de introdução da metodologia. Só com o domínio do contexto se pode adequar a metodologia e seleccionar métodos e ferramentas indicados para as situações concretas. Em gestão pelo valor é fundamental recusar todo o modelo pré-fabricado e recorrer à criatividade na escolha dos caminhos. Deve-se ter em conta as condições externas à organização sobre as quais os gestores podem ter pouca ou nenhuma influência e que podem representar oportunidades ou constrangimentos e, ainda, as condições internas onde os gestores podem actuar.

- A utilização eficaz de métodos e de ferramentas

A gestão pelo valor fornece a estrutura de apoio no interior da qual podem ser aplicados de uma forma estruturada e lógica os métodos de gestão. A gestão pelo valor integra estes e outros métodos garantindo ainda que cada um seja aplicado não de forma isolada mas através de uma abordagem global coerente alinhados com os objectivos da organização (empresa). Neste trabalho são apresentados e aplicados modelos parciais suportados por métodos e ferramentas que usam dados operacionais dispersos mas normalmente disponíveis para acrescentar valor operacional a uma organização.

Na gestão pelo valor o plano de execução de um projecto tem de estabelecer objectivos com base em critérios de valor. Genericamente um projecto de gestão pelo valor, como o apresentado no capítulo 5 correspondente à parte experimental deste trabalho, deve adoptar um plano de execução que considere as condições fundamentais e específicas desta abordagem. A figura 2.2 apresenta as principais fases de um projecto de gestão pelo valor.

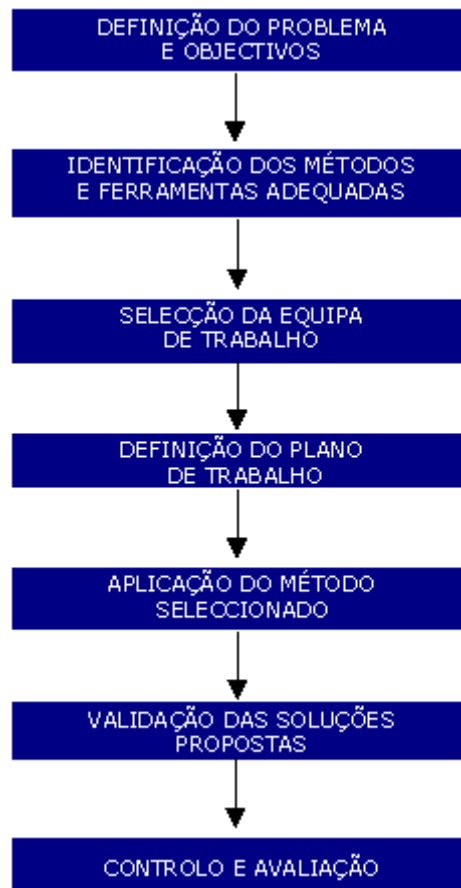


Fig. 2.2 – Fases de um projecto de gestão pelo valor

Sem se pretender desenvolver todas as fases apresentadas na figura 2.2 é importante destacar que a definição do problema e dos objectivos deve estar integrada na estratégia da empresa e considerar definida a política de gestão pelo valor. Este aspecto implica o estabelecimento de metas e objectivos específicos. A selecção dos métodos e ferramentas tem de pressupor uma recolha consistente de informações e estabelecer as necessidades em termos de funções e, finalmente, a equipa deve respeitar os critérios definidos em gestão pelo valor. A gestão pelo valor - *Value Management* é uma forma

de abordar a gestão de um compromisso entre a satisfação de uma necessidade e os recursos que temos de despendar para a obter. O valor é um conceito relativo, que depende das circunstâncias, do estado da arte, do lugar, do momento, etc. A gestão pelo valor retira da análise do valor os conceitos de valor e de função recorrendo a um vasto conjunto de métodos e ferramentas que se seleccionam em função de uma situação concreta.

Por isso Pires (2000) refere que existem duas visões para a optimização e(ou) o planeamento da qualidade que se associam ao conceito de valor. Uma visão antiga que privilegia o controlo estatístico e uma nova visão orientada do exterior e, consequentemente, através do cliente a partir da qual se decide quais as ferramentas a utilizar. Azevedo (2003) considera que os métodos da avaliação do valor através da relação risco/custo se denomina por gestão dos activos – *Asset Management*. Assim, na figura 2.3 apresenta-se uma possível esquematização da avaliação da análise do valor e de risco no processo (serviço) de manutenção de equipamentos produtivos a partir dos seus dados históricos e dos resultados operacionais obtidos.

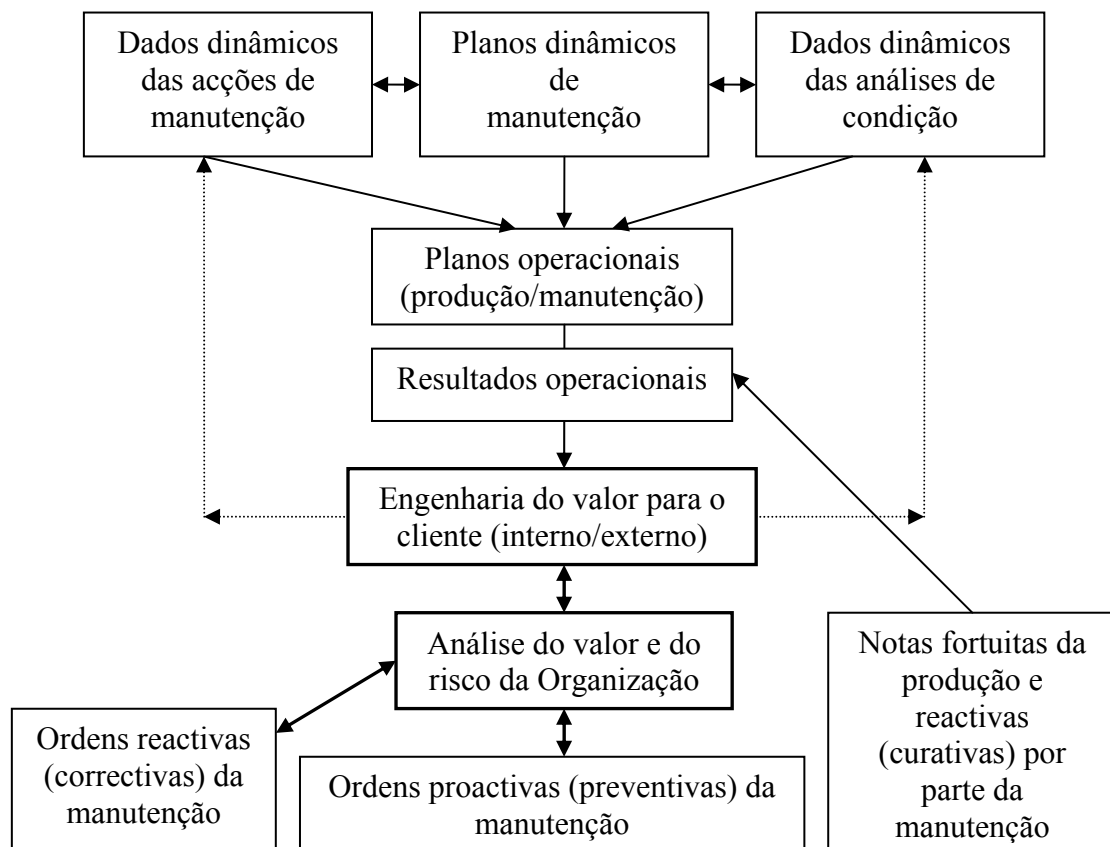


Fig. 2.3 – Os *inputs* da análise de valor de um serviço de manutenção

A figura 2.4 apresenta também uma esquematização possível baseado na gestão do valor para o cliente que designamos por “modelo funcional de gestão dos activos (Humanos e materiais) e dos processos” industriais suportado por *outsourcing*’s operacionais que permitam simultaneamente a flexibilização dos recursos e a redução dos custos operacionais.

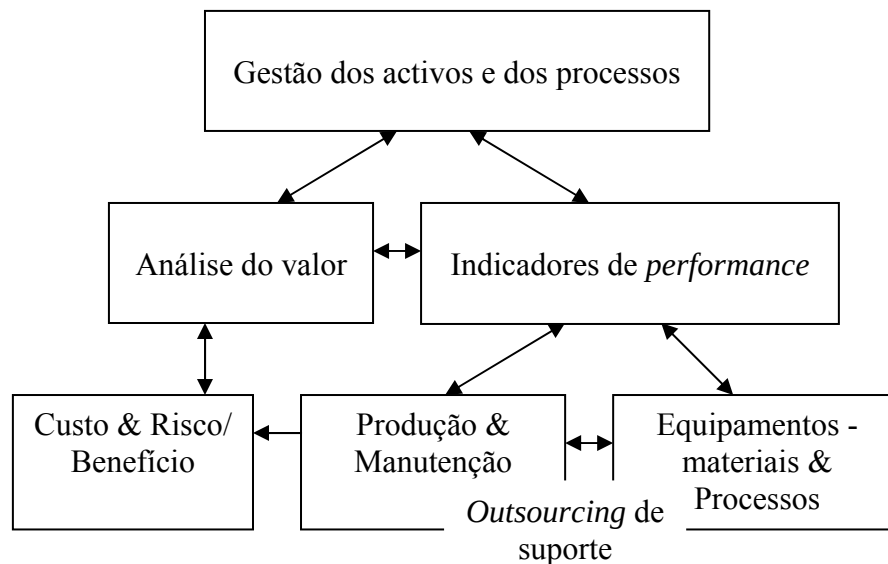


Fig. 2.4 – Modelo de gestão operacional pelo valor suportado por *outsourcing*

Um modelo integrado mas suportado pelos serviços de *outsourcing* deve permitir, para além da criação de valor, vantagens competitivas para a(s) empresa(s). Devem ser caracterizados os indicadores de *performance* (técnicos e económicos) como a disponibilidade (fiabilidade e manutenibilidade), a segurança e a protecção ambiental, o ritmo de produção, a produção máxima sustentável, o custo do ciclo de vida dos equipamentos, a produtividade da manutenção e outros indicadores que se considerem relevantes e que possam contribuir para as melhores práticas de gestão e a melhoria da fiabilidade operacional. As tendências de desenvolvimento económico demonstram que, cada vez mais, a dicotomia entre as empresas industriais e as de serviços vem diminuindo significativamente. Isto acontece principalmente porque as empresas vão percebendo que para sobreviver no mercado consumidor (global) é necessário oferecer algo mais do que os clientes esperam e, por isso, se diferenciam. Segundo Berry e Parasuraman (1992a) as empresas preocupam-se com a qualidade dos seus produtos e com os seus serviços tentando assim impressionar o cliente com uma união entre o tangível e o intangível. Kano (1995) melhora a Organização com a qualidade atractiva.

O autor atrás citado acredita que a sinergia entre tangível e intangível forma o elemento diferenciador e o valor agregado utilizado para delimitar os sectores de actuação das empresas. Nesta linha não existem só empresas puramente industriais ou de serviços. O que existem são empresas com produtos mais tangíveis caracterizadas pelo que se chama o sector da produção e empresas com produtos mais intangíveis que constituem o sector dos serviços. A figura 2.5 representa os diversos tipos de empresas a partir da variação do "grau de tangibilidade" do produto oferecido por uma organização.

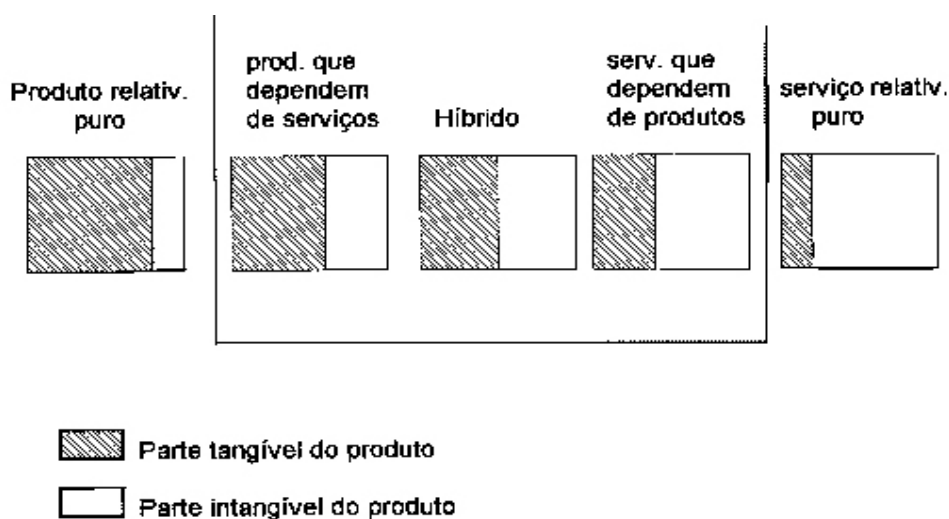


Figura 2.5 - O espectro produto vs serviço

Quando se fala da indústria de serviços incluem-se as empresas com pelo menos 50% destas actividades (empresas híbridas). As empresas como por exemplo as de manutenção industrial os serviços e as actividades dependem em parte de produtos (materiais) e por vezes bastante mais dos serviços (recursos) relativamente puros. Nos países mais evoluídos a indústria de serviços supera a indústria da produção e empregam até dois terços da população. Esta é uma tendência que quanto mais evoluído o país mais importante é seu sector terciário. Normann (1993) refere que das 100 maiores empresas mundiais criadas até aos anos 70, cinquenta e seis eram de serviços e oito eram de serviços com a incorporação de algum produto. Nóbrega (1997) faz uma comparação da força de trabalho alocada ao sector de serviços nos EUA nos períodos anterior e posterior a 2.^a grande guerra e verificou que houve um aumento de 50% para 80%. Na Europa e em particular na Suécia esta tendência cresce ao longo do último século de acordo com os dados da Web site www.eps.ufsc.br apresentados na tabela 2.1.

Tabela 2.1 - Força do trabalho activo na Suécia

Ano / Sector	Agricultura	Indústria	Serviços
1870	73	12	05
1900	61	24	09
1950	21	34	42
1980	06	23	71
1990	05	21	75
2000	04	17	79

Dada a importância e a tendência crescente do sector dos serviços é fundamental a melhoria da sua qualidade. Muitos acreditam que por definição os serviços não podem ser garantidos. Os serviços são geralmente consumidos ao mesmo tempo que são produzidos sendo, certamente, menos previsíveis do que as máquinas (equipamentos). De acordo com empresa Ernst & Young – Sotec a figura 2.6 representa os possíveis pontos de variação (*gap's*) da qualidade nos processos de prestação de um serviço.

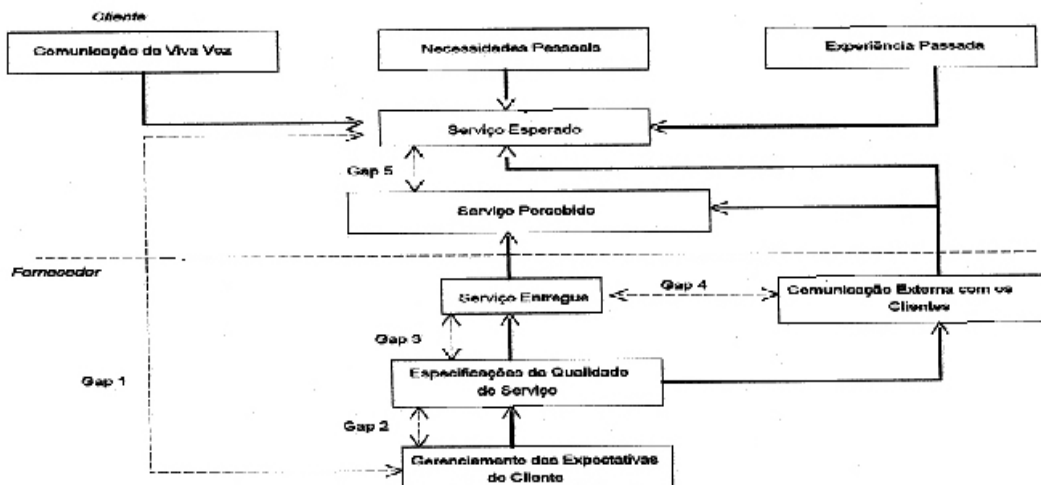


Fig. 2.6 - Os *gap's* de qualidade no processo da prestação de serviços

Analisando cada uma das variações internas ao próprio serviço e a relação deste com o cliente podem ser identificados pontos críticos do processo que ao serem monitorados e avaliados permitem que o processo possa ser melhorado continuamente.

Gap 1: Ocorre entre as expectativas dos clientes e a percepção da gestão destas expectativas (não se sabe o que o cliente espera). A empresa não identifica a qualidade requerida pelos clientes; *Gap 2:* Entre a percepção da gestão sobre as expectativas dos clientes e a especificação da qualidade dos serviços (serviço errado - padrões de qualidade). A qualidade planeada pela administração não vai de encontro à qualidade requerida pelos clientes; *Gap 3:* Entre as especificações da qualidade do serviço e o serviço fornecido (diferença na *performance* do serviço). A qualidade oferecida não corresponde à qualidade planeada pela administração; *Gap 4:* Entre o serviço entregue e a comunicação externa aos clientes sobre o serviço fornecido (quando as promessas não coincidem com o fornecido). O marketing final é diferente da qualidade oferecida; *Gap 5:* Entre as expectativas dos clientes e o serviço percebido como fornecido. A qualidade requerida pelos clientes é diferente da qualidade oferecida.

Berry e Parasuraman (1992b) conduziram uma investigação com clientes objectivando saber que critérios são considerados quando se avalia a qualidade dos serviços de uma empresa. Esta investigação concluiu que a qualidade dos serviços pode ser avaliada sob cinco dimensões que a seguir se referem:

- A fiabilidade que representa a capacidade de prestar o serviço prometido de modo fiável e com precisão. Satisfaz as necessidades primárias dos clientes o prazo e a quantidade;
- A tangibilidade que representa a aparência física das instalações, os equipamentos, as pessoas e os materiais de comunicação;
- A sensibilidade que representa a disposição para ajudar o cliente e proporcionar com eficiência um serviço;
- A segurança que representa o conhecimento e a cortesia dos empregados e sua habilidade em transmitir confiança e fiabilidade;
- A empatia que representa a atenção proporcionada aos clientes.

Ernest e Young (1993) também determinaram as dimensões da qualidade segundo a visão do(s) cliente(s). Segundo os autores atrás citados elas são classificadas como: tangível real; fiável; prontidão; competência; cortesia; segurança; credibilidade; acessível; comunicação e compreensão. Estas dimensões sendo em maior quantidade são, no entanto, similares às apresentadas por Parasuraman *et al* (1998).

As dimensões de competência e credibilidade estão representadas através da segurança e fiabilidade; as dimensões de prontidão, cortesia e acessível estão contidas na sensibilidade e, por último, a comunicação e compreensão do consumidor são directamente ligadas à dimensão da empatia. Moller (1992) analisa estas dimensões dividindo-as em duas espécies de qualidade de serviço ambas necessárias à satisfação do cliente: a qualidade técnica ou objectiva e a qualidade humana ou subjectiva. A qualidade objectiva representa as dimensões tangíveis do serviço e a qualidade subjectiva representa as dimensões intangíveis, exprimindo o conteúdo emocional do serviço.

Não importa quantas dimensões a empresa toma em linha de conta para elaborar os seus padrões de qualidade desde que sejam tomados em consideração os aspectos subjectivos e objectivos. É um erro comum na indústria dos serviços ignorar as dimensões subjectivas na melhoria sistemática da qualidade devido às dificuldades em especificar padrões de qualidade relacionados com o comportamento humano. Kotler *et al* (1999) refere que a qualidade percebida pelo cliente depende muito de sua inter-acção com o prestador do serviço: “O consumidor julga a qualidade dos serviços não apenas pela qualidade técnica (o sucesso de uma cirurgia) mas, também, pela qualidade funcional (preocupação mostrada pelo médico e a confiança que inspira). Assim, os profissionais não podem pressupor que irão satisfazer os clientes apenas proporcionando bons serviços técnicos”. Kano (1993) também refere a atracção dos clientes pela qualidade.

2.1.2 – O valor percebido para o cliente

Um modelo de gestão pelo valor de um serviço de manutenção consiste na identificação dos critérios de percepção do valor pelo cliente; o tratamento desses critérios através da sua priorização; a análise de possíveis conflitos; na correlação com os processos de manutenção propriamente dita e, finalmente, na avaliação do desempenho baseada nos critérios anteriormente priorizados. Segundo Walters (1999) os factores da percepção do valor podem variar de acordo com cada tipo de cliente e estes *value drivers* são os atributos do serviço que devem agregar valor. Lapierre (2000) adopta um total de 13 factores que influenciam a percepção do valor relacionado com o produto e os serviços. No subcapítulo 5.5.2.4 é apresentada a avaliação efectuada aos serviços de manutenção da linha de produção de pasta para papel e os respectivos resultados.

Assim, no quadro 2.1 apresentam-se os factores de percepção do valor do produto e serviços e as suas inter-relações.

Quadro 2.1 – Factores da percepção do valor

	Produto	Serviço	Inter-relações
Benefícios (necessidade)	Qualidade Soluções alternativas Customização	Flexibilidade Fiabilidade Receptividade Competência	Confiança Imagem Solidariedade
Sacrifícios (recursos)	Preço	Preço	Tempo/esforço/energia Conflito

Neste trabalho, e de acordo com Parasuraman *et al* (1988) e Lapierre (2000), os factores (indicadores) considerados como específicos da percepção do valor do cliente das operações (serviços) de manutenção são os seguintes:

VA - Velocidade de atendimento (MTTR);

A₀ - Disponibilidade (relação entre o *up-time* e o *down-time*);

C' - Competência (conhecimentos técnicos e de gestão);

CU - Custos (directos e indirectos);

CS - Consistência do serviço (eficácia das acções e redução do risco);

FL - Flexibilidade (polivalência);

T - Tempo de resposta até ao atendimento

A expressão 2.1 determina o valor percebido das operações dos serviços de manutenção para o cliente em função dos *value drivers* e a partir da sua importância relativa.

$$\text{Valor percebido} = f(\%VA, \%A_0, \%C', \%CS, \%FL, \%T) / f(\%CU) \quad (2.1)$$

Mudge (1981) atribui uma valorizaçãode entre 1 e 3 para cada um dos factores da percepção do valor (*value drivers*) como uma forma de os priorizar. Giansesi *et al* (1994) identifica os possíveis conflitos entre cada um dos critérios de percepção do valor correlacionando-os para evitar que um factor de benefício percebido aumente também o respectivo sacrifício.

Os autores atrás referidos consideram os recursos humanos, os materiais, a filosofia e o modelo de manutenção, a organização e os sistemas de informação, o *interface* das operações em conjunto com o cliente e, finalmente, as actividades de planeamento e controlo como os processos críticos que influem o desempenho das operações de manutenção.

O quadro 2.2 representa as relações consideradas fortes e médias entre os *value drivers* e os processos críticos do sistema de operações.

Quadro 2.2 – *Value drivers* e processos críticos nas operações de manutenção

	VA	A ₀	C'	CU	CS	FL	T
Gestão de recursos humanos	F	F	F	F	F	F	F
Gestão de materiais	F	F		F	f	F	F
Conceitos de manutenção		F	F	F	F	f	f
Organização operacional	F	F	F	F	F	F	F
Sistemas de informação	F	F		f			f
Gestão com o cliente	f	F	f	f	f		f
Planeamento/controlo de operações	f	F		F	F	f	
Legenda:	F – Relação forte; f – Relação média						

Finalmente Dwight (1995) define a *performance* ou desempenho das operações de manutenção através do nível que é atingido face à “meta” definida.

Rose (1995) refere que a avaliação da *performance* é a linguagem do progresso da organização e Meekings (1995) define “meta” como para onde a organização pretende ir. O desempenho dos serviços de manutenção não só é avaliado por indicadores quantitativos mas, também, por factores subjectivos que influenciam a percepção do valor para o cliente do serviço.

Mendes (2002) apresenta um método de avaliação do desempenho das operações de manutenção que incorpora os indicadores quantitativos atrás referidos e, em simultâneo, considera os indicadores subjectivos obtidos através de uma escala de avaliação entre 1 e 5 que é atribuída pelo “cliente”.

O quadro 2.3 sintetiza os factores e os resultados que se obtêm através do método.

Quadro 2.3 – Avaliação do desempenho das operações de manutenção

<i>Value driver</i>	Críticidade (K)	Indicadores associados	Cotação (Cot)	Avaliação (KxCot)
VA	% VA	Tempo das intervenções curativas; Tempo das intervenções programadas; Tempo das intervenções correctivas	1 a 5	
A ₀	% A ₀	<i>Down time</i> ; MTBF; Nº. de avarias por cada mil unidades produzidas; Disponibilidade		
C'	% C'	Horas de formação e treino; Taxa de rotatividade da(s) equipa(s); Taxa de competência		
CS	% CS	Quantidade de avarias repetitivas; Relação entre o planeado e executado;		
CU	% CU	Custo total de manutenção; Custo de manutenção por unidade produzida; Perdas de produção devidas às avarias		
FL	% FL	Taxa de polivalência ou grau de homogeneidade da equipa;		
T	% T	Tempo de resposta às intervenções curativas		

A avaliação final do desempenho ou *performance* é obtida através da expressão 2.2.

$$\text{Avaliação do desempenho (\%)} = \frac{\sum (K \times \text{Cot})}{\sum (K \times 5)} \quad (2.2)$$

Finalmente, para a elaboração do plano de acções prioritárias identificam-se os processos críticos significativos do serviço de manutenção na percepção do valor.

2.1.3 – As funções, os modos de falha, as falhas e o risco de avaria dos equipamentos

Blanchard (1993) define função como sendo uma acção específica do equipamento (sistema) de modo a atingir determinado objectivo podendo ser caracterizada por uma operação que o mesmo deve executar para levar a cabo a sua missão.

Jalashgar (1997) considera as acções que os componentes executam, em separado ou em grupo, para conseguirem o(s) objectivo(s) do equipamento e divide-os em funções activas e passivas conforme contribuam de uma forma dinâmica ou estática para o funcionamento do equipamento.

Chittaro e Kumar (1998) definem o conceito de função como uma relação entre um equipamento específico, um contexto, o comportamento do equipamento, a interpenetração do comportamento no contexto específico e a intenção. Os autores atrás citados apresentam o exemplo de um semáforo num cruzamento onde se estabelece uma relação entre este e os condutores automóveis.

Num ambiente industrial pode dar-se o exemplo entre as possíveis sinalizações e indicações remotas do estado dos equipamentos e o respectivo operador que os opera do painel de comando e controlo.

Antes de mais interessa definir que no presente trabalho usa-se o conceito de equipamento como sendo um sistema físico de maior ou menor complexidade constituído por elementos discretos interactuantes e interligados e que executam determinadas funções. Este conceito é usado por Villemeur (1992) e Modarres (1993) para a definição de sistema e que pode ser visto como uma entidade que recebe diversos *inputs* do exterior e fornece em resposta diversos tipos de *outputs* resultantes de transformações internas. Sena (2001) apresenta de forma simplificada um sistema de produção de automóveis.

No presente trabalho o sistema mais amplo é a produção de pasta para papel e os sistemas específicos são os equipamentos produtivos apresentados no quadro 2.4 através das funções que desempenham caracterizadas no subcapítulo 4.1.1.

Quadro 2.4 – Caracterização das funções, famílias e tipos de equipamentos

Função	Famílias de equipamentos	Equipamentos
Vedação e condução	Estáticos	Tubagens e uniões
Alimentação/comando e protecção		Celas eléctricas
Indicação e controlo		Instrumentação em linha
Accionamento e transmissão	Rotativos	Motores eléctricos
		Variadores (fixos) de velocidade
		Motores hidráulicos
Regulação e actuação	Lineares	Válvulas
		Actuadores
Equipamentos accionados	Rotativos	Bombas

Uma falha funcional é definida como a incapacidade de qualquer equipamento ou activo cumprir uma determinada função correspondente a um padrão de desempenho esperado e que por isso não é aceitável para o utilizador. Uma falha pode ser definida pela incapacidade do equipamento desempenhar a função que o utilizador pretende efectuar. Segundo a *International Electrotechnical Commission* - IEC 191 (1990) a falha é definida como uma impossibilidade de um equipamento desempenhar a sua função. A falha segundo Sena (2001) poderá englobar como sinónimos os termos avaria, acidente, incidente, mau funcionamento e defeito. O conceito de falha ou avaria é definido, segundo a norma NFX60-011, como a alteração ou o fim de capacidade de um item de realizar a função ou as funções requeridas com os níveis de desempenho definidos nas especificações técnicas. As falhas podem, ainda, ser classificadas em totais e parciais. No primeiro caso perde-se totalmente a função e no segundo caso ocorre uma variação ou um desvio da função relativamente aos limites aceitáveis do desempenho do equipamento. Pereira (1996) apresenta um conjunto de definições relativas à classificação das avarias (falhas) de acordo com a rapidez da sua manifestação, com o grau de importância e, ainda, com as causas e as consequências da avaria.

Surgem assim as definições de avaria progressiva, súbita (rapidez), parcial, completa (grau), catalítica, por degradação (rapidez e grau), má utilização, primária, secundária (causas), crítica, maior, menor (consequências), etc. De entre estas definições o autor atrás citado salienta as definições de: (i) avaria catalítica – avaria simultaneamente repentina e completa, (ii) avaria por degradação – avaria simultaneamente progressiva e parcial e (iii) avaria secundária e avaria primária – avaria de um dispositivo cuja causa está ou não está, respectivamente, na causa da avaria de outro dispositivo.

Um modo de falha pode ser definido como qualquer evento que causa uma falha funcional. Os modos de falha e a sua compreensão e interpretação, juntamente com o contexto operacional, são de primordial importância para a contribuição da melhoria da fiabilidade operacional dos equipamentos. Os principais modos de falha dos equipamentos são apresentados na quadro 2.5.

Quadro 2.5 – Principais modos de falha

Desgaste (erosão/abrasão)
Corrosão
Fixação (aperto)
Sujidade
Isolamento
Lubrificação
Ajuste/Calibração
Estanqueidade
Fadiga (<i>stress</i>)
Vibração
Sobrecarga
Evaporação
Desalinhamento
Choque
Oxidação
<i>Stress corrosion</i>
.....
Erro Humano

De notar que muitas vezes o processo de degradação desde o início da falha até à avaria ocorre através de um ou mais do que um dos modos de falha apresentados. Por exemplo o desgaste pode ocorrer simultaneamente devido a fenómenos de abrasão e de erosão ou apenas devido a cada um deles. Também a fadiga dos materiais pode resultar de solicitações provenientes de vibração. A sobrecarga a que um equipamento, por exemplo um motor eléctrico, pode estar sujeito em determinadas circunstâncias pode causar-lhe aquecimento interno e o inevitável aumento da temperatura e, através deste mecanismo, provocar a falha por envelhecimento prematuro do isolamento eléctrico das suas bobinagens. Nishida (1992) apresenta aplicações de análises de falha.

Moubray (1999) apresenta conforme as figuras 2.7 até 2.11 várias curvas representativas da evolução dos processos de falha dos equipamentos e componentes para além da tradicional curva da “banheira” representada na figura 2.12.

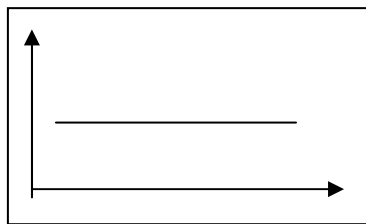


Fig. 2.7 - Constante

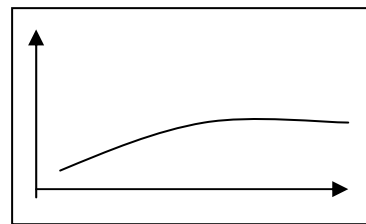


Fig. 2.8 – Crescente e constante

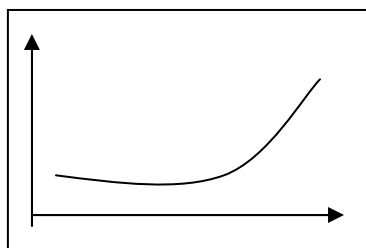


Fig. 2.9 – Constante e crescente

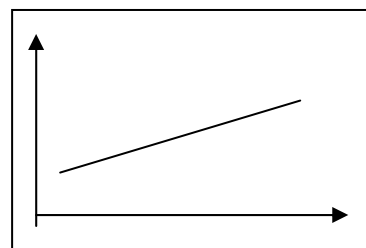


Fig. 2.10 - Crescente

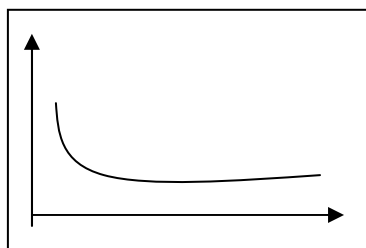


Fig. 2.11 - Decrescente e constante

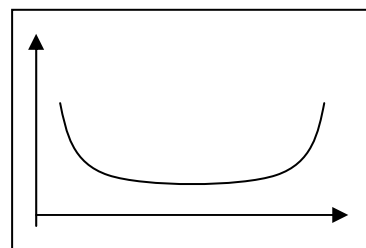


Fig. 2.12 – Curva da banheira

O autor atrás citado considera que podem ocorrer diferentes períodos de tempo entre uma avaria potencial “P” considerada imediatamente a seguir ao início de uma falha e a avaria “F” propriamente dita aonde ocorre a cessação da função do componente que avariou. Assim, é designado pelo período P-F o tempo que pode decorrer entre o início da falha e o momento em que ocorre a avaria devido à cessação da função. A figura 2.13 representa um exemplo típico das curvas P-F.

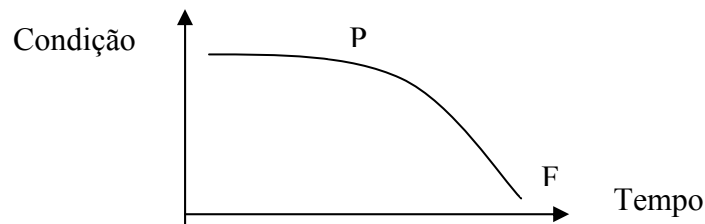


Fig. 2.13 – Período P-F

Este aspecto é muito importante considerar ainda na fase do projecto dos equipamentos, na avaliação dos riscos e consequências das avarias pelo que são, normalmente, função do tipo e da qualidade dos componentes intrínsecos a esses equipamentos dependendo ainda de variáveis extrínsecas características do contexto operacional.

De uma forma geral um determinado equipamento constituído por um conjunto de componentes pode ser caracterizado por uma elevada taxa de avarias (número de avarias num dado período de tempo) devido, unicamente, a um modo de falha motivado, por exemplo, ao material fora de especificações ou a uma folga de montagem incorrecta ou, ainda, à carga excessiva a que esse componente está sujeito. Refere-se a este respeito a British Standard - BS 5760-5 (1991) que define o modo de falha como o efeito pelo qual a falha é observada quando a mesma ocorre no equipamento.

Importa também saber por parte da manutenção se é, ou não, possível conhecer o tempo que pode decorrer entre o início da falha e da avaria propriamente dita. Genericamente a resposta é sim através do conceito de função de risco, no entanto, por vezes, a sua quantificação é bastante mais difícil de obter. A função de risco, $h(t)$, é uma probabilidade condicionada de uma ocorrência (avaría) por unidade de tempo de um componente reparável ou não e que pode ser observada no intervalo de tempo $[t, t+dt]$ dado que essa ocorrência não ocorreu até ao instante t .

A função de risco é representada através da expressão (2.1).

$$h(t) = f(t) / R(t) \quad (2.1)$$

Onde $f(t)$ representa a função densidade ou frequência relativa por unidade de tempo e $R(t)$ a fiabilidade do sistema ou de sobrevivência do componente. Deve definir-se que um componente (item) como um elemento que não pode ser desagregado e que faz parte de um sistema (equipamento) e em caso de avaria pode ser substituído por outro componente equivalente. A função de risco pode ser constante, decrescente e crescente e no caso da vida de um componente se ajustar à distribuição estatística de Weibull ela é expressa através da forma que se apresenta em (2.2).

$$h(t) = \beta t^{\beta-1} / \eta^\beta \quad (2.2)$$

β é o chamado factor de forma que caracteriza os vários padrões da função de risco e η representa a vida característica ou parâmetro de escala. A figura 2.14 representa a função de risco tendo em consideração os diferentes valores do factor de forma β .

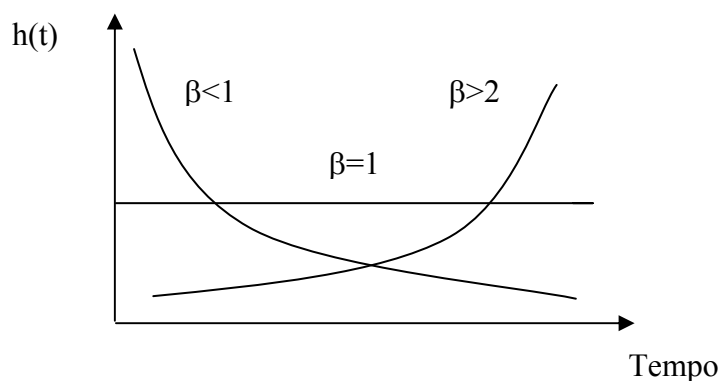


Fig. 2.14 – Funções de risco

A função de risco $h(t)$ associa-se ao tempo entre avarias quando se trata de avaliar a evolução da função de risco global de um equipamento ao longo do tempo entre avarias e surge associada ao tempo até à falha. A taxa instantânea de avarias $\lambda(t)$ associa-se a ocorrências repetitivas e o seu tempo de referência é contado desde a entrada em funcionamento até ao momento presente. Por sua vez a função de risco associa-se a um acontecimento único e tem como referência o tempo passado desde a última avaria até ao momento presente. Modarres (2006) aborda a análise do risco na área da engenharia.

A taxa instantânea de avarias define-se como a variação do número esperado de avarias verificado durante o tempo decorrido. Pelo que a taxa de avarias surge como um parâmetro (métrica) aplicável a qualquer ocorrência repetitiva observada, por unidade de tempo, num sistema ou num conjunto de sistemas reparáveis. A taxa de avarias tende para constante à medida que o tempo de funcionamento do sistema aumenta e por outro lado, de acordo com Pereira (1996), a função de risco de cada componente pode variar de forma diferente conforme se representa na figura 2.15.

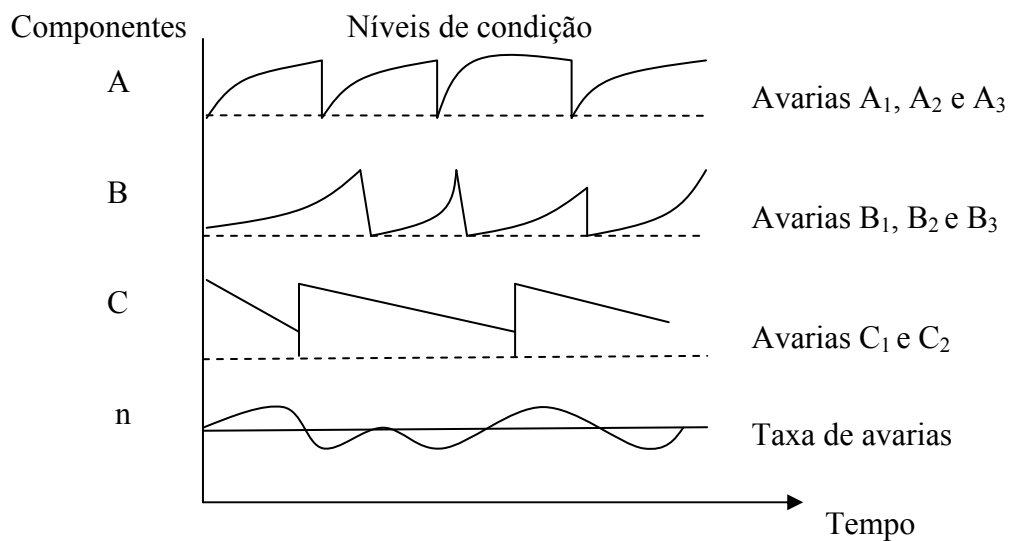


Fig. 2.15 – Representação da função de risco e da taxa de avarias

De acordo com o autor atrás citado a contagem do tempo referente à função de risco aparece associada ao tempo entre avarias ou ao tempo até a avaria e, por outro lado, a taxa de avarias corresponde ao tempo de vida útil dos equipamentos reparáveis.

2.1.4 – Os parâmetros de fiabilidade e a previsão das ocorrências futuras

Os principais parâmetros respeitantes à fiabilidade dos materiais dos componentes dos equipamentos são a taxa de avarias ou seja o número de avarias verificadas durante um determinado intervalo de tempo de funcionamento e o tempo médio entre avarias (MTBF – *Mean Time Between Failures*) de um sistema reparável. No entanto Pereira (1996) considera outro parâmetro de muito interessa a considerar e que diz respeito ao risco da ocorrência de uma avaria. O autor atrás citado define-o como uma probabilidade condicionada da avaria ocorrer no intervalo de tempo de funcionamento $(t+\Delta t)$ sabendo-se que ela ainda não ocorreu até ao tempo t .

De uma maneira geral na área da fiabilidade e, consequentemente, da qualidade dos sistemas (equipamentos) baseiam as suas experimentações em testes sequenciais temporais até a avaria em protótipos com o objectivo de avaliar o comportamento e a fiabilidade dos materiais (equipamentos e componentes) ajustando os resultados obtidos a funções de distribuição estatísticas, como por exemplo a Weibull e a exponencial negativa ou ainda a algoritmos matemáticos, de forma a se obter indicadores de fiabilidade, de qualidade e, ainda, de manutibilidade. Esses indicadores são a taxa de avarias, o tempo médio entre avarias, o tempo médio de reparação ou de substituição, a disponibilidade do sistema e finalmente os custos de manutenção resultantes. Sob o ponto de vista puramente probabilístico uma ocorrência futura pode ser encarada como uma probabilidade condicionada, isto é, a partir do momento em que se conhece a probabilidade de ocorrer o acontecimento B (do espaço de resultados Ω) é possível calcular a probabilidade de qualquer outro acontecimento A se realizar condicionado pelo acontecimento B. Por definição esta probabilidade é dada pela expressão 2.3.

$$P(A|B) = \frac{P(A \cap B)}{P(B)} ; \quad \text{se } P(B) > 0 \quad (2.3)$$

Assim sendo, a probabilidade de um acontecimento A condicionado pela ocorrência de outro acontecimento B é igual ao quociente entre a probabilidade de ambos se realizarem ($A \cap B$) e a probabilidade do acontecimento dado.

No caso da actividade da manutenção industrial e em particular em processos de produção de laboração contínua a gestão da manutenção deve tomar em consideração o contexto (meio) operacional dos equipamentos e os modos de falha característicos que, por sua vez, derivam, para além da forma de como são utilizados, das mais adequadas decisões de gestão operacional de inspecção, de reparação ou de substituição dos equipamentos produtivos dinâmicos (rotativos) e estáticos. Makis *et al* (1991) apresentam um modelo de optimização de substituição de equipamentos suportado pelos riscos proporcionais. A avaliação do risco de avaria é um parâmetro fundamental que permite a optimização da disponibilidade das instalações e dos equipamentos para produzirem com a qualidade requerida pelo menor custo, assim como a adequada utilização das equipas dos serviços de manutenção responsáveis pelas acções correctivas e preventivas sobre os equipamentos.

Quando se pretende conhecer o risco de avaria através da influência que certas variáveis explicativas (covariáveis) provocam no comportamento e na fiabilidade dos sistemas pode-se recorrer ao modelo de regressão proporcional já abordado no subcapítulo 1.5.2.2.

Este modelo fornece parâmetros que ao serem conjugados com os factores (covariáveis) conhecidos como por exemplo através das diferentes formas de exploração, localização, cargas heterogéneas, etc. pode, após a análise dos resultados, fornecer indicações preciosas ao gestor da manutenção relativamente às medidas a tomar para melhorar a fiabilidade do sistema (equipamento) e, portanto, permite fazer previsões acerca de ocorrências futuras.

Este modelo sendo semi-estatístico é, até certo ponto, oposto aos modelos determinísticos pois estes não contêm momentos de avaria.

Os modelos determinísticos são baseados nas leis da degradação física dos componentes ou sistemas sujeitos a falhas (avaría). Estes modelos podem ser aplicados a certos componentes no entanto no que diz respeito a equipamentos ou sistemas é em muitos casos de bastante difícil aplicação.

O modelo dos riscos proporcionais apresentado por Cox (1972) é usado neste trabalho como uma técnica semi-paramétrica.

Jardine (1998) e Pereira (1996) referem que o modelo dos riscos proporcionais é uma técnica que, utilizando a função de risco log-linear, é aplicável para deduzir os efeitos que determinados factores poderão ter na fiabilidade futura dos componentes. Aqueles factores são designados por covariáveis e podem representar situações ou parâmetros intrínsecos ao material, como por exemplo, fenómenos associados ao desgaste através de análise de óleos lubrificantes e níveis vibratórios de equipamentos.

Segundo Pereira (1996) o modelo aparece-nos como uma forma de analisar dados referentes a tempos de falha para, partindo de certas condições assumidas à partida, estimar os efeitos de certos parâmetros, as covariáveis, na fiabilidade do sistema em estudo.

2.1.5 – A disponibilidade a segurança os custos e a qualidade dos produtos

A disponibilidade dos equipamentos e a segurança para além de dependerem de factores de concepção e projecto que lhes são intrínsecos tais como a fiabilidade dos materiais e a manutenibilidade, associada à maior ou menor facilidade de execução das acções de manutenção, segundo a *SAE International* (1992) é afectada, também, por outros factores extrínsecos. Os factores intrínsecos e extrínsecos atrás referidos influenciam, por sua vez, os custos de manutenção e a variabilidade (qualidade) dos produtos processados.

A disponibilidade dos equipamentos, tal como referido no subcapítulo 1.6.2, pode ser classificada como inerente, alcançada e operacional. A primeira e segundas classificações dizem respeito às actividades de manutenção e a terceira inclui, também, as operações de comissionamento e segurança das intervenções nos equipamentos sendo, por isso, da responsabilidade da operação (produção). A disponibilidade dos equipamentos produtivos objecto deste trabalho está, por consequência, afecta às operações da manutenção e também da produção.

Tradicionalmente, segundo Ben-Daya (2002) e Ben-Daya e Makhdoum (2002), a manutenção e a qualidade têm sido analisadas separadamente. A deteoração do equipamento conduz, no entanto, a desvios no processo e a diminuição da qualidade dos produtos razão pela qual Badía *et al* (2002) discutem essa questão relacionando a manutenção ineficaz com a necessidade de inspecções ao equipamento mais frequentes elevando, por isso, o custo do controlo de qualidade. Souris (1992) refere que a qualidade do processo e do produto passa pela qualidade da manutenção sem a qual o montante investido em sistemas de gestão da qualidade pode ser desperdiçado. Kardec e Nascif (2005) consideram que a manutenção é um processo essencial à sustentação dos sistemas de gestão da qualidade como a ISO 9000.

De acordo com Mirshawa e Olmedo (1993), os custos gerados pelos processos visíveis de manutenção são apenas a ponta de um *iceberg*. Mesmo não havendo paragem dos equipamentos devido a falta de manutenção ou por manutenção imperfeita (ineficaz) o desempenho dos equipamentos, a produtividade e os custos de manutenção ficam afectados contrariamente à sua disponibilidade operacional que não se altera.

Uma política inadequada de manutenção traduz-se no aumento dos custos relacionados com a falta de produtividade. O número de horas extras efectuadas e os atrasos de quantidade ou a falta de qualidade dos produtos são reflexos das políticas desadequadas. Assim sendo, a manutenção deve definir uma política que permita optimizar os seus custos e ao mesmo tempo reduzir os custos de produção. Apresenta-se na figura 2.16 a relação considerada por bastantes autores entre os custos decorrentes das avarias e os custos de manutenção.

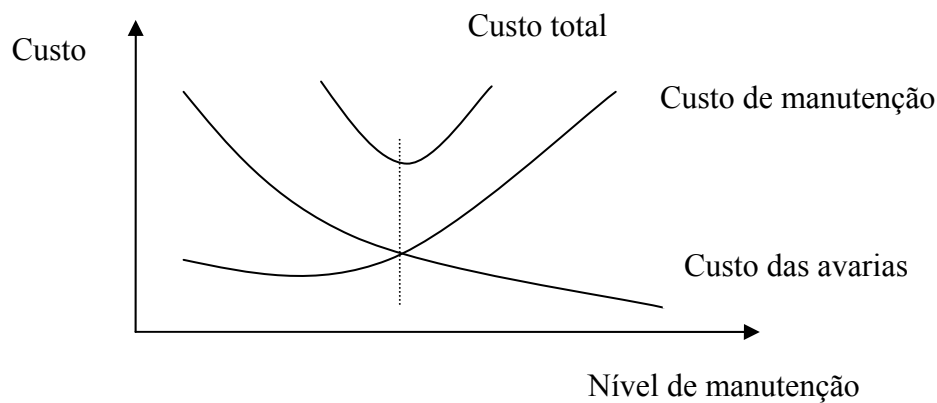


Fig. 2.16 – Custos totais e custo de manutenção

Dos custos decorrentes das avarias dos equipamentos fazem parte entre outros as peças, a mão-de-obra, os serviços e, em caso da paragem destes, o custo associado à não produção e à imagem do facto. Murty e Naikan (1995) apresentam uma inter-relação que se apresenta na figura 2.17 para a determinação do ponto óptimo da disponibilidade operacional correspondente a um valor maior que zero e menor que uma unidade.

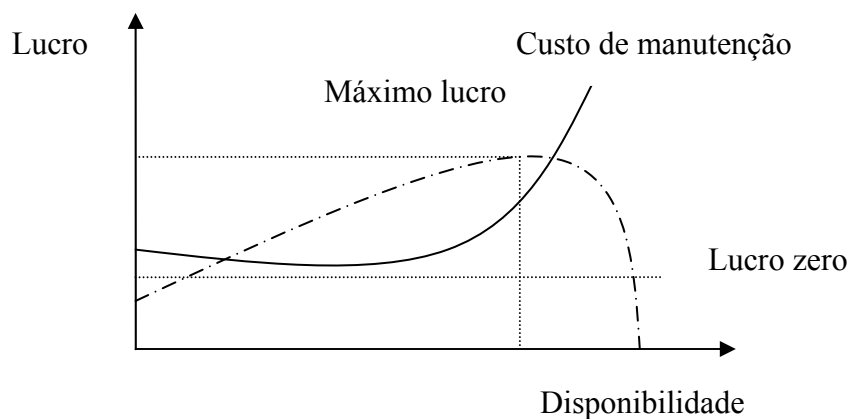


Fig. 2.17 – Disponibilidade e lucro máximo

De acordo com a Web site www.idcon.com/article acedido em 08.06.07 apresenta-se um caso da redução do custo por unidade produzida (tonelada) numa fábrica de produção de pasta e papel. Os custos de manutenção das paragens programadas (*shutdowns*) apresentados na figura 2.18 desceram cerca de 80% entre 1998 e 2001.

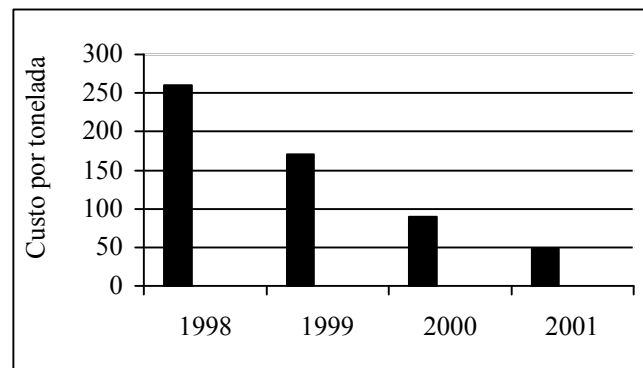


Fig. 2.18 – Redução do custo (dólares) nas paragens planeadas

Esta redução significativa do custo foi alcançada através da selecção do tipo de trabalhos; da sua duração; do seu custo/benefício e também através da preparação e do planeamento adequado dos trabalhos. É também referido que é usado o indicador que relaciona o tempo médio entre perdas de produção (MTBPL) e a média das perdas de produção (MPL) ao longo do tempo para aferir e validar o “esforço” de manutenção e o de operação. Na Web site www.s9000.com consultado em 08.06.07 é caracterizada a disponibilidade dos equipamentos através de cada um dos diferentes grupos ou famílias de equipamentos em operação. Harem e Horner (2002) referem os factores que afectam os custos internos dos serviços de manutenção. Wu *et al* (2004) apresentam métodos para reduzir os custos directos de manutenção aplicados à aviação comercial. Thorstensen *et al* (1999) apresentam um modelo de custo de manutenção baseado na informação recolhida através dos sistemas de monitorização dos equipamentos.

Relativamente à segurança um documento da Bently Nevada (*part number* 149409-01 de 2002) apresenta uma ferramenta de *Risk Assesement Tree* para estimar o que designa por SIL – *Safety Integrity Levels* de acordo com a norma ISA S84.01 e a IEC 61508. Com a combinação das normas atrás referidas procuram-se soluções para melhorar a segurança em indústrias de processo através de técnicas de cálculo simplificadas, da análise de uma árvore de falhas ou, ainda, através da análise de Markov.

2.2 – A gestão dos equipamentos

2.2.1 – Os factores que influenciam a fiabilidade dos equipamentos

Os equipamentos ou activos produtivos podem ser classificados em dois grandes grupos. Os considerados reparáveis e os não reparáveis. Em qualquer dos casos a sua fiabilidade, ou seja a probabilidade de não avariar durante um período de tempo determinado, depende de factores intrínsecos aos diferentes componentes que os constituem assim como de factores que influenciam o seu funcionamento conjunto permitindo assim que o(s) equipamento(s) cumpram a sua função no processo produtivo. Os factores intrínsecos aos componentes estão associados à qualidade e à adequabilidade dos materiais que os constituem. Por outro lado o desempenho conjunto desses componentes depende de outros factores, por exemplo dimensionais, característicos e exigíveis para a necessária interdependência da funcionalidade entre os diferentes componentes dos equipamentos.

Para além do atrás referido também as políticas e acções de manutenção mesmo nos equipamentos não reparáveis e a forma como são operados influem a probabilidade de avaria e, conseqüentemente, a sua fiabilidade.

A métrica usualmente utilizada para quantificar a fiabilidade dos equipamentos é a taxa de avarias. Ela é caracterizada pelo número de avarias verificadas durante um determinado período de tempo e o seu inverso representa o tempo médio entre avarias (MTBF) para o caso dos equipamentos reparáveis e o tempo médio até avaria (MTTF) para os equipamentos não reparáveis.

São os factores atrás descritos, designados neste trabalho por covariáveis à luz do modelo parcial usado, o dos riscos proporcionais, que são analisados numa perspectiva conjunta e multivariável com o objectivo de determinar a sua influência na fiabilidade dos equipamentos. Posteriormente, e depois da determinação “intensidade” de cada uma das covariáveis e das covariáveis que mais influenciam as avarias, procura-se actuar sobre as mais significativas através de acções de manutenção, de operação e de melhorias, de forma a reduzir o risco de avaria dos equipamentos em estudo.

2.2.2 – A criticidade, o risco de avaria e a previsão das consequências

A avaliação da criticidade dos equipamentos do processo produtivo é um importante factor a ter em conta na gestão do processo de manutenção dos equipamentos podendo-se expressar, de uma forma genérica, através de um algoritmo cujo resultado represente numericamente a importância de cada um dos equipamentos ou sistemas através da ponderação de cada uma das variáveis em análise. A criticidade de uma avaria pode ser representada através do número de criticidade C_m calculado através da expressão apresentada em 2.4.

$$C_m = \beta_1 \cdot \alpha \cdot \lambda_p \cdot t \quad (2.4)$$

Em que:

β_1 = probabilidade condicionada de perda de função

α = taxa de avarias para um modo de falha

λ_p = taxa de avarias do componente

t = tempo de funcionamento do componente

Segundo Ferreira (2003) e Silva (2000), a análise de criticidade de avaria pode também ser efectuada a partir da utilização dos dados obtidos através da análise FMECA aos equipamentos ou sistemas introduzindo, neste caso, factores de ponderação para o cálculo de cada um dos índices de severidade, de ocorrência e de detectabilidade das avarias. Segundo os mesmos autores citados este tipo de avaliação pode ser feita ainda na fase do projecto dos equipamentos e das instalações industriais e, portanto, antes das avarias ocorrerem ou já com os equipamentos em operação (funcionamento).

Através dos efeitos previsíveis das avarias e(ou) as suas consequências e, ainda, dos índices apresentados como no exemplo do quadro 2.6 determinam-se quais os equipamentos bem como as “ferramentas” que as funções da manutenção e da produção (condução) devem dispor ou, ainda, que acções devem ser tomadas prioritariamente sobre os equipamentos para se evitar ou minimizar os efeitos das avarias. Neste propósito Mann *et al* (1995) questionam a manutenção baseada na estatística das falhas.

Quadro 2.6 - Classificação atribuída à severidade

EFEITO	CRITÉRIO: SEVERIDADE DO EFEITO	Índice
Perigoso - sem aviso	A avaria ocorre sem qualquer tipo de aviso. Tem um elevado impacto ao nível da segurança dos operadores da instalação ou da comunidade; coloca em risco normas ambientais.	10
Perigoso - com aviso	A avaria ocorre com aviso. Tem um elevado impacto ao nível da segurança dos operadores da instalação ou da comunidade; coloca em risco normas ambientais.	9
Tempo de paragem muito elevado	Paragem de produção superior a 120 horas; não coloca em risco a segurança de bens ou pessoas; não põe em risco normas ambientais.	8
Tempo de paragem muito elevado	Paragem de produção superior a 72 e inferior a 120 horas; não coloca em risco a segurança de bens ou pessoas; não põe em risco normas ambientais.	7
.....		...
Nenhuma consequência	A variabilidade dos parâmetros do processo encontra-se dentro dos limites de controlo superior e inferior. Não é necessário desencadear acções de ajustamento de controlo. Não provoca a produção de produto defeituoso.	1

Os critérios e os índices referidos no quadro anterior e os seguintes são meramente indicativos devendo ser adaptados a cada caso concreto e por isso mesmo se refere Canuto e Pereira (2004) onde neste contexto se apresenta um caso de aplicação numa unidade industrial de produção de pasta para papel. O quadro 2.7 que se segue apresenta os critérios de ocorrência suportados pelo tempo médio entre avarias (MTBF) ou falhas considerados por Ferreira *et al* (2005).

Quadro 2.7 - Classificação atribuída à ocorrência

Probabilidade de ocorrência	Critério: MTBF ou MTTF	Índice
Muito alta	MTB(T)F superior a 170 horas e inferior a 750 horas	6
Alta	MTB(T)F superior a 750 horas e inferior a 4400	5
Moderada	MTB(T)F superior a 4400 horas e inferior a 8800	4
.....		...
Remota	MTB(T)F superior a 44000	1

O quadro 2.8 apresenta os critérios de detectabilidade considerados pelos autores atrás referidos na página 117.

Quadro 2.8 - Classificação atribuída à detectabilidade

Probabilidade de detecção	CRITÉRIO: PROBABILIDADE DE DETECÇÃO	Índice
Incerta	O controlo da máquina/operador não consegue detectar a avaria funcional do equipamento.	6
Remota	Existe uma REMOTA probabilidade do controlo da máquina/operador conseguir detectar a avaria funcional do equipamento. O controlo da máquina tem um indicador de avaria iminente	5
.....		...
Elevada	Existe uma ELEVADA probabilidade do controlo da máquina/operador conseguir detectar a avaria funcional do equipamento. O controlo da máquina tem um indicador de avaria iminente podendo este desencadear uma acção preventiva e isola a sua causa	2
Muito Elevada	Existe uma MUITO ELEVADA probabilidade de o controlo da máquina/operador conseguir detectar a avaria funcional do equipamento	1

Rao (1996) e Ferreira *et al* (2005) apresentam várias “ferramentas” que permitem fornecer respostas qualitativas e quantitativas com vista à detecção de falhas nos equipamentos. Após a avaliação dos factores atrás apresentados para cada equipamento de uma instalação o IC – Índice de Criticidade é calculado através da multiplicação dos valores da severidade pela da ocorrência e da detectabilidade. O objectivo do cálculo do IC – Índice de Criticidade é conhecer os IMS - Items de Manutenção Significativos sendo o cálculo efectuado através da soma dos IS de todos os modos de falha identificados. O conhecimento dos IMS permite actuar prioritariamente se assim se justificar sobre os equipamentos que apresentem o pior desempenho baseado na criticidade calculada. Pinto C. V. (2002) refere-se a D’Aléssio (1991) que propõe uma forma diferente para a avaliação da criticidade apresentada no 6.º Congresso Ibero-Americano de Manutenção e que se reproduz sinteticamente no quadro 2.9. O autor atrás citado propõe um método de avaliação da criticidade dos equipamentos de produção através de factores mais diferenciados que os atrás apresentados apesar de ambas as abordagens terem em vista a tomada de decisão relativamente à política de manutenção a seguir em cada um dos equipamentos considerados.

Quadro 2.9 – Factores de criticidade e sua ponderação

Aspecto(s) a considerar	Situação	Pontuação
Efeito na Produção	Paragem	4
	Redução	2
	Sem consequência	0
Valor técnico-económico do equipamento	Alto	4
	Médio	2
	Baixo	1
Consequências da avaria		
- No pessoal	Risco	1
- No processo	Risco	3
- No equipamento	Risco	2
Pessoal; processo e equipamento	Sem risco	0
Dependência logística	Estrangeiro	2
	Nacional (local)	0
Dependência de mão-de-obra	Terceiros	2
	Própria	0
Probabilidade de avaria	Alta	1
	Baixa	0
Facilidade de reparação	Alta	1
	Baixa	0
Flexibilidade e redundâncias	Simples	2
	By-pass	1
	Dupla	0
Total		...

De acordo com os valores atribuídos no quadro 2.9 o autor atrás citado atribui uma pontuação menor para as consequências das avarias com impacto nas pessoas comparada com a pontuação atribuída ao processo produtivo e, consequentemente, ao equipamento com a qual não podemos concordar. Por outro lado concorda-se plenamente com a inclusão da logística, a dependência da mão-de-obra e a manutibilidade dos equipamentos (facilidade de reparação) nos factores de criticidade apresentados.

Finalmente, o mesmo autor já atrás citado considera ainda necessária a soma total da pontuação apresentada no quadro 2.9 de acordo com o intervalo de pontos apresentados no quadro 2.10 como uma orientação para a política de manutenção a adoptar.

Quadro 2.10 – Avaliação da política de manutenção a adoptar

Nº. de pontos	Criticidade	Política de manutenção a adoptar
19 a 22	Crítico	Manutenção preventiva
13 a 18	Importante	Manutenção preventiva
6 a 12	Baixa	Manutenção correctiva
0 a 6	-	Manutenção correctiva

2.2.3 – O modelo dos riscos proporcionais na previsão da fiabilidade

O modelo dos riscos proporcionais é sustentado numa técnica de regressão apresentada pelo professor Cox e submetida à *Royal Statistical Society* em 1972. Segundo Leitão (1989) e Pereira (1996) esta técnica foi inicialmente quase só aplicada no campo da medicina e ainda hoje, de acordo com a procura de informação efectuada no decorrer do presente trabalho, é nessa área que se podem encontrar a maior parte dos exemplos ilustrativos da aplicação desta técnica. Ansell *et al* (2004) e Li *et al* (2006) aplicam o modelo na área da manutenção mas de diferentes formas. O modelo dos riscos proporcionais é, ou também pode ser, uma técnica não paramétrica que utilizando uma função de risco log-linear pode ser aplicada em engenharia para deduzir os efeitos que determinados factores podem ter na fiabilidade dos componentes ou dos equipamentos. Aqueles factores são designados por covariáveis por interagirem entre si e podem, segundo Pereira (1996), representar situações ou parâmetros intrínsecos aos materiais e aos equipamentos ou extrínsecos a estes. As covariáveis caracterizadas por Z 's na expressão (1.10) da página 48 do subcapítulo 1.5.5.2 podem ser contínuas, representando valores medidos e relacionados com o funcionamento dos sistemas em estudo, ou discretas representando a presença ou a ausência de um certo factor. As covariáveis actuam de forma multiplicativa na função de risco base para combinações dos diferentes valores que possam tomar. Ansell *et al* (2004) e Li *et al* (2006) usam o modelo na área da manutenção e aplicam-no através de diferentes formas.

O “peso” de cada um dos factores em causa ou covariáveis é expresso através da estimativa de coeficientes de regressão β determinados pelo processo de verosimilhança condicional descritos por Kalbfleish e Prentice (1980) e através da sua maximização efectuada de forma iterativa pelo método de Newton-Raphson.

A opção neste trabalho pelo modelo dos riscos proporcionais prende-se, para além do mais, pelo facto de na realidade industrial nem sempre ser possível a obtenção de dados fiáveis acerca das ocorrências das falhas e das avarias e, neste caso, estes poderão ser considerados como censurados. Por outro lado o modelo, também permite que não se assuma à partida nenhum modelo estatístico paramétrico apesar de recorrer aos dados relativos a situações ocorridas no passado com os equipamentos ou os componentes. A previsão da fiabilidade do equipamento no tempo, já apresentada no subcapítulo 1.5.2.2 através da expressão (1.12), é representada através do efeito de potência das diferentes covariáveis na função de sobrevivência base R_0 . O método Newton e Raphson atrás referido utiliza conceitos de cálculo matemático conforme apresentado por Pina (1995) de modo a se encontrar os zeros de uma equação arbitária $f(x) = 0$. O objectivo subjacente é a aproximação da função através de linhas tangentes considerando-se r uma raiz também chamada de "zero" de $f(x)$ sendo que $f(r) = 0$.

Assim, supondo que $f'(r) \neq 0$ apresenta-se na figura 2.19 um número (ponto) expresso por x_1 aproximado a r pertencente à curva representada pela equação $f(x)$ da mesma figura atrás referida. Também a linha tangente a $f(x)$ em $(x_1, f(x_1))$ contém o ponto x_2 a interceptar o eixo dos x - x .

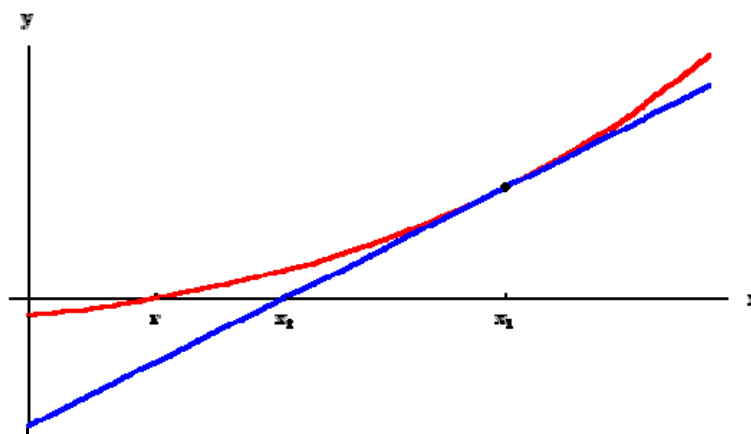


Fig. 2.19 – Forma de convergência do método Newton-Raphson

Desta forma verifica-se que o ponto x_2 está mais próximo de r . Em seguida calcula-se o valor de x_2 através do valor de x_1 .

$$x_2 = x_1 - \frac{f(x_1)}{f'(x_1)}.$$

Como se supõe que $f(x) \neq 0$ não haverá problema com o denominador da expressão e, assim, o processo de cálculo prossegue de forma idêntica para a determinação de x_3 de acordo com a expressão apresentada em 2.5 e assim sucessivamente.

$$x_3 = x_2 - \frac{f(x_2)}{f'(x_2)}. \quad (2.5)$$

Este processo está na origem de uma sequência de números $\{x_n\}$ que se aproximam progressivamente de r . Esta técnica das aproximações sucessivas aos zeros reais é usada pelo modelo dos riscos proporcionais (PHM) e chamada de *Newton's method* ou Newton-Raphson. Obtêm-se, assim, as estimativas dos coeficientes de regressão através do conceito de verosimilhança condicional que assenta na probabilidade condicional da falha do componente i no momento t_i sabendo-se que esteve em risco e sobreviveu até esse momento e que há um conjunto $\mathcal{R}(t_i)$ de componentes que estão em risco de falhar. Esta probabilidade é dada pela expressão 2.6.

$$\text{Exp}(Z_i \beta) / \sum_{l \in \mathcal{R}(t_i)} \exp(Z_l \beta) \quad (2.6)$$

$\mathcal{R}(t_i)$ representa o conjunto de unidades em funcionamento em t_i e Z e β são, respectivamente, os valores medidos e os calculados caracterizados na página 48 do subcapítulo 1.5.2.2. O processo de estimação, ou seja a forma de cálculo dos valores dos β 's (coeficientes de regressão) que maximizam a função de semelhança, é efectuado, como atrás já ficou referido, através do método Newton-Raphson que é bastante usado em muitos dos *softwares* específicos relativos a esta matéria da estimação. A fiabilidade ou sobrevivência condicional é então expressa em unidades de tempo e está associada a uma maior ou menor probabilidade do risco de avaria dos componentes e dos equipamentos.

2.2.4 – Os tipos de decisão na gestão dos equipamentos

Os principais tipos de decisão na gestão dos equipamentos assentam em modelos matemáticos que permitem garantir as acções de manutenção de inspecção, reparação e substituição dos equipamentos enquanto em operação. Estes modelos dizem respeito fundamentalmente à gestão dos componentes e peças de reserva e também à renovação dos equipamentos. Os principais modelos referentes aos componentes e peças de reserva dizem respeito ao seu aprovisionamento e eventual armazenagem para posterior uso nas acções de manutenção sobre os equipamentos. Segundo Reis (2005), a análise ABC ou *management by exception*, na terminologia anglo-saxónica, permite uma mais cuidada gestão nos artigos a qual se revela da maior importância em valor financeiro investido ou do valor do consumo anual (produto do número de unidades saídas de armazem por ano pelo preço médio de cada unidade). Almeida (2001) refere que os materiais (componentes e peças) são elemento preponderante na eficiência dos serviços de manutenção e podem ter um peso muito relevante nos seus custos. Uma eficaz gestão de materiais tem por objectivo:

- Assegurar a disponibilidade do material;
- Responder sem demora aos pedidos de material;
- Definir as previsões de necessidades;
- Imobilizar apenas o capital estritamente necessário para, assim, se minimizar os custos totais de operação.

As funções associadas à gestão dos componentes e dos equipamentos interagem com a logística abordada no subcapítulo 1.3.2. Estas funções competem ao aprovisionamento, à gestão de *stocks*, à manufactura e à reparação oficial. Nesta última algumas das peças e(ou) equipamentos sendo técnica e economicamente viável reparar as operações necessárias são efectuadas em oficinas internas e(ou) através de fornecedores externos com quem é acordado o preço do serviço e a responsabilidade pelo cumprimento dos prazos de entrega. Cabem neste âmbito os componentes e os equipamentos reparáveis.

Os principais modelos de gestão económica de *stocks* são os baseados no método do ponto de encomenda e o da periodicidade fixa de encomenda existindo ainda outros métodos aplicáveis em casos mais particulares.

O método do ponto de encomenda tem a desvantagem, segundo Reis (2005), de não permitir um fácil agupamento de artigos numa mesma encomenda. Neste método encontram-se variantes que se caracterizam por pontos de encomenda múltiplos e encomendas segundo programa. Esta última variante do método da procura irregular ou dependente, segundo Mendes (2006), é usada quando se está perante necessidades específicas de acordo com um programa. Neste caso as necessidades das encomendas são calculadas através de um sistema informático derivado do método MRP – *Material Requeriment Planning* já referido no subcapítulo 1.9 e devem responder aos pedidos (reservas) reais efectuados pelos operadores de manutenção para a execução das acções planeadas sobre os equipamentos. As acções de manutenção não planeadas ou devidas avarias não esperadas podem provocar sérios problemas ao aprovisionamento de peças.

No que diz respeito às decisões de renovação dos equipamentos elas assentam em modelos que conduzam a minimizar os custos e a maximizar a disponibilidade, conforme já atrás referido no subcapítulo 1.6. Pereira (1996), onde se referem os vários conceitos associados à inspecção, reparação ou à substituição dos equipamentos que variam de acordo com o seu tipo e às condições em que operam. O autor atrás citado refere os modelos de substituição, propostos por Jardine (ops. cit.), entre outros, e considera também o caso da substituição de equipamentos devido às necessidades de actualização tecnológica. Neste caso os equipamentos não são substituídos por outros iguais mas por equipamentos que incorporam as inovações tecnológicas desenvolvidas durante o tempo de funcionamento do equipamento a substituir. As decisões de reparação de equipamentos são suportadas por acções prévias de inspecção (*off-line* e *on-line*) e também, de acordo com Prabhu *et al* (2005), através do ajustamento dos parâmetros do processo produtivo baseado na condição do equipamento. Quando estas acções não permitem a garantia da fiabilidade devido ao número de avarias ou, ainda, quando não são económica e tecnicamente viáveis sob o ponto de vista operacional decide-se substituir o equipamento por outro semelhante (rotável) existente em *stock* de armazem ou por um disponível no fornecedor para aplicação directa na instalação. Casos há que devido à criticidade do equipamento, ao risco da avaria e às suas consequências, conforme ficou exposto no subcapítulo 2.2.2, torna-se necessário prever a montagem de um equipamento para reserva instalada pronta a funcionar. Neste caso a substituição é feita, quando necessária, mas sem o recurso imediato dos serviços da manutenção. A função do equipamento avariado fica assim assegurada pelo de reserva.

2.3 – A gestão das equipas de manutenção

Dos aspectos mais importantes considerar para um bom desempenho da actividade de manutenção e das equipas são, para além da sua correcta gestão, as competências e as capacidades dos recursos Humanos. De acordo com o subcapítulo 1.4.2 para além dos atributos aí referidos há ainda a considerar que a motivação e a satisfação dos recursos influenciam os erros que se cometem. O ensino e formação de base técnica e científica são orientados normalmente por grandes áreas do conhecimento como se apresenta no quadro 2.11 tais como a mecânica, a electricidade e a instrumentação entre outras. No entanto com a necessidade de flexibilizar as estruturas das organizações e aumentar a produtividade tem-se assistido nos últimos anos e também em Portugal ao incremento simultâneo da polivalência mas também da especialização dos técnicos industriais.

Quadro 2.11 – Áreas de conhecimento em manutenção industrial

Mecânica	Eléctrica	Instrumentação	Outras
Medição e análise de vibrações	Automação	Válvulas automáticas	Sistemas de controlo distribuído
Equilibragem	<i>Drives</i>	Programação	Logística
Ensaios não destrutivos	Electricidade de potência	Sensores e transdutores	Robótica
Óleo-hidráulica	Máquinas eléctricas	Pneumática	Isolamentos
Lubrificação	Alta tensão	AVAC	Pintura
Serralharia	Baixa tensão	Telecomunicações	Materiais
Soldadura	Força motriz	Sistemas operativos	Gestão de stocks
Mecânica fina específica	Interface Homem-máquina	Ensaios e calibrações	Movimentações de peças
Mecânica geral	Sinais de comando	Electrónica	Segurança
Máquinas ferramentas	Medição e análise termográfica	Segurança	Montagem de andaimes
Sistemas de vedação	Ensaios e calibrações	Transmissores	Armazenagem
Alinhamentos	Segurança	Sinais de controlo	Condução
Segurança	Consignações	Óleo-hidráulica	Informática

2.3.1 – Os factores que influenciam a manutibilidade e a manutenção dos equipamentos

A manutibilidade conforme já foi abordado no subcapítulo 1.6.2 é um parâmetro que influencia a disponibilidade dos equipamentos. Assis (2004) refere que a manutibilidade é, essencialmente, uma característica de concepção e também de fabricação. A manutibilidade traduz a capacidade do sistema ser mantido em boas condições operacionais, enquanto que a manutenção constitui o conjunto de acções empreendidas sobre os equipamentos com o objectivo de repor o sistema avariado nas condições semelhantes às de novo. As formas de medir a eficiência da manutibilidade são: a frequência de manutenção, o tempo de manutenção e os respectivos custos.

A manutibilidade é definida com a probabilidade de relaizar com sucesso uma acção de manutenção (reparação) durante um dado período de tempo. Por outras palavras a manutibilidade é uma métrica que diz respeito à eficiência e à rapidez com que um sistema pode ser reparado ou reposto no seu estado operacional antes de avariar. Por exemplo, quando se diz que um componente tem uma manutibilidade de 0,9 no tempo de uma hora significa que existe uma probabilidade de 0,9 para ser reparado até ao período de tempo atrás referido. Neste caso a variável aleatória é o tempo de reparação (MTTR) enquanto que o tempo até à avaria é a variável aleatória da fiabilidade (MTBF). A manutibilidade $M(t)$ para os tempos de reparação distribuídos exponencialmente é determinada através da expressão 2.7.

$$M(t) = 1 - e^{-\mu \cdot t} \quad (2.7)$$

Onde μ é a taxa de reparação. Note-se a atenção na semelhança entre a expressão 2.7 atrás apresentada com a representativa da fiabilidade de um sistema com tempos de falha exponencialmente distribuídos. A manutibilidade $M(t)$ representa a probabilidade do cumprimento da ocorrência de um acontecimento (reparação do sistema) e a fiabilidade $R(t)$ representa a não ocorrência de um acontecimento (avaria). No entanto, a expressão representativa da manutibilidade é semelhante à da não fiabilidade $(1 - R)$. O parâmetro do modelo que a seguir se refere ou seja a taxa de reparação μ é comparado com o da taxa de avarias λ sendo, no entanto, ambos usados no caso de validada a possibilidade

da aplicação da distribuição exponencial negativa. Similarmente, a média do tempo de reparação é determinada através da expressão 2.8.

$$\frac{1}{\mu} = MTTR \text{ (mean time to repair)} \quad (2.8)$$

Estamos assim perante o tempo médio de reparação (*MTTR*) em vez do tempo médio da falha (*MTTF*). O Engineering Statistic Handbook apresenta na secção 8.1.7.1, tal como a seguir se transcreve a interpretação da *ROCOF - Rate Of Occurrence Of Failures at t*.

Homogeneous Poisson Process (HPP)

Repair rate (ROCOF) models and formulas

The simplest useful model for $M(t)$ is $M(t) = \lambda t$ and the repair rate or ROCOF is the constant $m(t) = \lambda$. This model comes about when the interarrival times between failures are independent and identically distributed according to the exponential distribution, with parameter λ . This basic model is also known as a homogeneous Poisson process (HPP). The following formulas apply:

$F(t) = 1 - e^{-\lambda t}$ = the CDF of the waiting time to the next failure (or "interarrival" time between failures)

$N(T)$ = the cumulative number of failures from time 0 to time T

$$P\{N(t) = k\} = \frac{(\lambda t)^k e^{-\lambda t}}{k!}$$

$M(T) = \lambda T$ = the expected number of failures by time T

$M'(t) = m(t) = \lambda$ = the repair rate or ROCOF

$\frac{1}{\lambda}$ = the Mean Time Between Failures (MTBF)

Refere-se ainda que os tempos das reparações dependem também, para além das componentes humanas referidas nas páginas 28 e 29 do subcapítulo 1.4.2, das práticas da gestão e do suporte operacional dos serviços de manutenção.

2.3.2 – O dimensionamento das equipas de manutenção

O dimensionamento das equipas dos serviços de manutenção é uma temática que não tem sido abordada com suficiente profundidade na literatura e nos trabalhos da especialidade. Para além do tempo de reparação, normalmente caracterizado através do MTTR – *Mean Time To Repair*, interessa também conhecer entre outros factores o número de elementos (executantes) necessários para a execução das operações de manutenção nas diferentes famílias e tipos de equipamentos no tempo esperado. De acordo com o referido no subcapítulo 1.8 é em primeiro lugar necessário conhecer o nível da polivalência dos recursos do contexto operacional em análise. Por outro lado, em determinadas operações de manutenção é fisicamente impossível realizar o trabalho previsto apenas com um executante. Esta situação acontece devido à localização do equipamento, às suas dimensões físicas, ao seu peso e porque mesmo que fosse possível executar as operações com apenas um executante o tempo de reparação tornava-se in comportável com a disponibilidade requerida do equipamento e, por consequência, com os custos associados a essa indisponibilidade. Alfares (2007) apresenta um caso de programação da mão-de-obra dos trabalhos de manutenção na actividade petrolífera.

Também a produtividade que segundo Carvalho (2004) e de acordo com a figura 2.20 é geralmente definida como a relação entre uma certa medida de produção e uma outra medida correspondente aos factores utilizados, traduzida num indicador que representa a eficácia dos *outputs* e a eficiência dos *inputs*, ficaria afectada devido a eventuais desajustamentos entre estes.

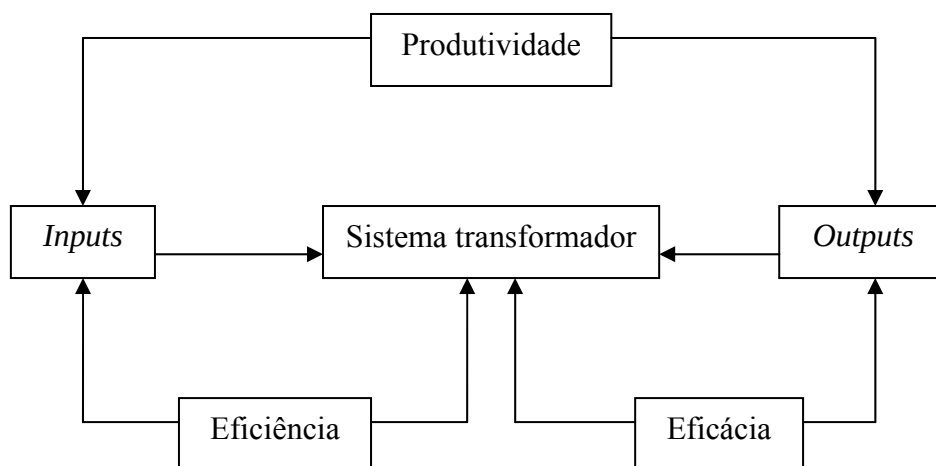


Fig. 2.20 – Esquema geral da relação entre *inputs* e *outputs*

A *performance* da produtividade é, assim, função da forma com se combina a componente do valor ligada à eficácia (fazer as coisas certas) com a componente do valor ligada à eficiência (fazer coisas de forma certa). O dimensionamento e seguidamente a optimização das equipas de manutenção, partindo do pressuposto de que as competências dessas equipas são semelhantes e adequadas, é um problema que desde sempre e cada vez mais as Organizações dedicam a sua atenção porque as variações do número de pessoas (equipas) e a sua maior ou menor eficiência relativamente aos tempos médios de reparação ou de inspecção influenciam a disponibilidade dos equipamentos e os custos directos e indirectos da manutenção. Maynard e Zandin (2001) indicam de acordo com o quadro 2.12 alguns valores de referência em horas x Homem relativas à actividade da manutenção.

Quadro 2.12 – Índices de referência para a actividade de Manutenção

Actividades da Manutenção (Hh)	Indicadores
Homem x hora em reparações	10 a 15 %
Homem x hora em inspecções	5 a 10 %
Homem x hora em revisões programadas	25 %
Homem x hora em modificações	5 a 10 %
Homem x hora em manutenção planeada	60 a 70 %
Homem x horas suportadas pela preparação de trabalho	80 a 85 %
Trabalho planeado que foi realmente realizado	85 a 95 %
Trabalhadores indirectos Vs trabalhadores directos	25 %
Horas extraordinárias Vs hora normais	2 a 5 %

Canuto (2004) e (2005) considera a importância das actividades de suporte das operações de manutenção incluindo as da preparação de trabalhos e Pinto (2002) refere que a preparação do trabalho fornece a indicação, entre outras, acerca da especialização dos executantes e a quantidade necessária. Em todos os trabalhos de dimensionamento de equipas dos serviços de atendimento ao público como por exemplo em caixas de supermercados, portagens, agências bancárias e outros serviços apenas é necessário considerar para o atendimento um executante (servidor) no entanto para o atendimento dos pedidos de reparação de equipamentos industriais, como adiante se verá no capítulo 3, é também necessário considerar equipas constituídas por 2 e mais executantes.

2.3.3 – O modelo das filas de espera

As filas de espera são um fenómeno conhecido de todos e a frequente observação deste facto é uma consequência de uma especialização progressiva da nossa sociedade. Segundo Tavares *et al* (1996) o estudo das filas de espera remonta ao trabalho pioneiro de Erlang (1917) que dedicou a aplicação do seu estudo às chamadas telefónicas que aguardavam linha para serem encaminhadas. Os modelos de filas de espera que são apresentados visam por um lado o dimensionamento das equipas (servidores) dos serviços de manutenção industrial e, por outro lado, os *trade-offs* entre o custo mínimo do serviço prestado e o atendimento das chegadas dos pedidos de reparação. Segundo Carvalho (2004) infere-se que a manutenção eficiente dos equipamentos dos processos produtivos podem representar um valor acrescentado para a empresa ao nível competitivo através das componentes da qualidade, da produtividade e da inovação. Relativamente à produtividade é a componente “racional” da empresa e visa a melhoria da eficácia (aquilo que se produz ou o serviço prestado) com a eficiência (a forma como se produz); a inovação é a componente de adaptação permanente ao contexto tecnológico emergente. Em sentido amplo pode dizer-se que tudo o que contribui para uma determinada produção de bens/serviços reflecte uma produtividade:

- um homem que fornece um trabalho exclusivamente corporal tem uma “produtividade simples”;
- uma máquina ou uma fonte de energia possuem uma determinada “produtividade parcial”;
- uma oficina, um departamento administrativo, uma empresa ou um sector económico, têm uma “produtividade global”.

Jardine (1979) recorre à teoria das filas de espera para otimizar os custos operacionais dos serviços de manutenção assumindo à partida que as chegadas dos pedidos de reparação são aleatórios e que os intervalos de tempo entre as chegadas seguem uma distribuição de probabilidade exponencial negativa e por consequência o número de acontecimentos por unidade de tempo segue uma distribuição de Poisson. O autor atrás citado caracteriza também que o respectivo serviço de atendimento da avaria, ou seja a reparação, segue, também, uma distribuição exponencial negativa.

O autor atrás citado considera que na manutenção industrial também se poderá aplicar a teoria das filas de espera e que esta deve dar resposta às seguintes questões:

- Qual é o tempo médio de espera de um pedido de trabalho?
- Qual é o número médio de trabalhos no sistema de obras (CMMS)?
- Qual o número de pessoas (executantes) internas e/ou externas necessárias?

A teoria das filas de espera é referida por diversos autores como por exemplo Kleirock e Gail (1975) e (1996), Bronson *et al* (1997) e Tavares *et al* (1996) relacionando-a com a investigação operacional em processos que envolvam chegadas de clientes e o respectivo atendimento. Estes processos têm por base as chegadas de clientes a um local onde é prestado um serviço esperando na “fila” se todos os servidores estiverem ocupados e depois de servidos (atendidos) deixam esse local. É como exemplo qualquer serviço pessoal onde se admite que o dimensionamento do atendimento seja levado a efeito por um servidor (pessoa executante) no posto de trabalho e, caso necessário, se possa aumentar a capacidade de atendimento (postos de trabalho) em função do maior número de chegadas no tempo. Sherif e Smith (1981) abordam a análise dos tempos de reparação e a manutibilidade dos equipamentos e referem que a frequência das reparações é determinada pela respectiva taxa de avarias. Kelly e Harris (1998) apresentam um modelo matemático de previsão de tempos de espera baseados nas distribuições, em termos de densidade de probabilidades, dos intervalos das chegadas dos trabalhos e dos tempos de reparação e no número de equipas. Ramalhoto (1999) e Ramalhoto e Syski (1996) abordam as filas de espera nos serviços industriais. Pinto (2002) também refere a aplicação da teoria das filas de espera em manutenção industrial mas não desenvolve essa aplicação. O autor atrás citado considera a existência de uma duração mínima de execução de um trabalho para o qual a sua preparação conduza a menores custos. Esse tempo de execução depende do tipo de trabalho e dos próprios custos da preparação mas esta justifica-se economicamente para trabalhos com durações a partir das 4 a 5 horas. Pereira (1996) também se refere, respectivamente, à questão da previsão de tempos de espera para o começo da intervenção e ao dimensionamento de equipas de Manutenção através das abordagens de Kelly e Harris (1977) e de Jardine (1979) pelo que parecem ser as que mais se aproximam dos propósitos que se pretendem atingir nesta parte do trabalho.

O modelo das filas de espera aplicado à função da manutenção industrial em processos de laboração contínua recorre aos processos estocásticos, referidos por Ross (1974) e (1998), de vida e de morte sem memória e baseados na distribuição exponencial negativa que associam a “vida” como uma chegada à fila de espera e a “morte” como uma saída do sistema depois de efectuado o atendimento requerido. Um processo do tipo “vida” e “morte” pressupõe as três hipóteses fundamentais que a seguir se referem:

- 1.^a - Dado que no instante de tempo t o sistema se encontra no estado n , a distribuição de probabilidade relativamente ao tempo que medeia entre o instante presente e a próxima chegada (nascimento) segue uma distribuição exponencial negativa com parâmetro λ_n ;
- 2.^a - Dado que no instante de tempo t o sistema se encontra no estado n , a distribuição de probabilidade relativa ao tempo entre o instante presente e o próximo serviço concluído (morte) segue uma distribuição exponencial negativa com parâmetro μ_n ;
- 3.^a - Nunca pode ocorrer neste processo em simultâneo mais do que uma chegada (nascimento) ou de um serviço concluído (morte).

O processo das chegadas é representado pela distribuição de Poisson de acordo com a expressão 2.9.

$$P(x) = \lambda^x e^{-\lambda} / x!, \quad x = 0, 1, 2, \dots \quad (2.9)$$

Onde λ representa a taxa de chegadas por unidade de tempo. O processo que caracteriza o tempo do serviço de atendimento quando aquele difere de um “cliente” para outro “cliente” é, normalmente, caracterizado pela distribuição exponencial negativa e estará de acordo com a expressão desenvolvida em 2.10.

$$P(t_1 < T < t_2) = \int_{t_1}^{t_2} \mu e^{-\mu x} dx = e^{-\mu t_1} - e^{-\mu t_2}, \quad \text{para } t_1 < t_2 \quad (2.10)$$

A modelação analítica destes processos incide sobre os estados estacionários ou de equilíbrio, pelo que o sistema oscila em torno de uma situação média e para que esta situação se mantenha é necessário que se verifique a chamada equação de balanço. Gross e Harris (1974) e (1998) apresentam o fundamental acerca da temática atrás referida relativa à teoria das filas de espera.

Tavares *et al* (1996) apresenta um exemplo de aplicação do modelo M/M/S/N de filas de espera numa situação industrial com população finita (N) em que existem um número pequeno de máquinas que podem avariar aleatoriamente e necessitando de ser reparadas para reiniciar o seu funcionamento. O conjunto finito de máquinas constitui a população de potenciais clientes e a equipa ou equipas de reparação as estações de serviço (servidores). Neste caso num determinado instante as máquinas (equipamentos) que estão na fila, avariadas, não se podem avariar de novo sem que sejam reparadas, pelo que a taxa de chegada depende do estado do sistema. Nesta situação e no limite quando todos os N elementos constituintes da população estiverem no sistema (fila ou atendimento) a taxa de chegada anula-se. Deve aqui ficar referido, segundo Moreira (2005), o caso de quando o número de máquinas é grande ou mesmo ilimitado e também, segundo Costa (2002), quando não há limitações ao comprimento da fila de espera deve aplicar-se o modelo M/M/S em detrimento do modelo M/M/S/N.

Com base na teoria das filas de espera sem memória atrás apresentada, Jardine (1979), propõe, relativamente às decisões organizacionais da função Manutenção, uma forma de otimizar a taxa de reparação por unidade de tempo (μ) para minimizar os custos por unidade de tempo devidos às perdas de produção e, simultaneamente, os custos do serviço de reparação. A expressão apresentada em 2.11 caracteriza essa forma de optimização para uma dada taxa de avarias (λ).

$$\mu_{\text{ótimo}} = (V \cdot \lambda / K)^{1/2} + \lambda \quad (2.11)$$

Onde V representa o valor da produção do equipamento por unidade de tempo e K uma constante que representa o custo de reparação por unidade de tempo. Outra forma de optimização apresentada pelo mesmo autor diz respeito às oportunidades de sub-contratação face à carga de trabalhos a executar durante um período fixo de tempo (como por exemplo durante uma paragem programada das instalações produtivas). A teoria, neste caso, tem como objectivo determinar o adequado número de executantes (equipas) para a minimização dos custos operacionais de manutenção. A expressão apresentada em 2.12 traduz a forma de optimização anteriormente referida.

$$C(n) = nC_f + [nm \int_{nm}^{\infty} f(r)dr + \int_0^{nm} rf(r)dr]C_w + [\int_{nm}^{\infty} (r - nm)f(r)dr]C_s \quad (2.12)$$

Onde os C 's representam, respectivamente, os custos da mão de obra interna (w), subcontratada (s) e os custos fixos (f); n representa o número de executantes; m o número de trabalhos (reparações) concluídos por cada equipa (executantes) por unidade de tempo e $f(r)$ a densidade de probabilidade do número de trabalhos r por unidade de tempo.

O número de trabalhos concluídos por cada equipa constituída por um ou mais executantes por unidade de tempo (por exemplo a hora) depende da duração prevista de cada um desses trabalhos. Conhecendo-se o número de trabalhos médios semanais que aguardar a paragem das instalações é possível caracterizar uma função de densidade de probabilidade que os representa. A função rectangular ou uniforme adequa-se ao caso em estudo apresentando-se a seguir em 2.13 a expressão que caracteriza a sua função de densidade de probabilidade.

$$f(r) = 1/(b - a), \text{ para } a < r < b \text{ e } f(r) = 0, \text{ para } r < a \text{ ou } r > b \quad (2.13)$$

Neste caso “ a ” e “ b ” representam respectivamente o número mínimo e o máximo de trabalhos da área fabril que aguardam uma paragem.

2.4 – A optimização dos custos operacionais

Os custos de manutenção dependem de factores que tradicionalmente lhe são directamente ou indirectamente imputáveis conforme já atrás referido no sub-capítulo 1.6.1. Porém, nas unidades produtivas do tipo *flow shop* como a produção da pasta para papel a optimização dos custos são significativamente influenciados por outros factores, para além da eficiência da manutenção e a interpenetração com a produção, tais como:

- A dimensão ou a escala da(s) unidade(s) produtiva(s);
- As sinergias desenvolvidas interna e externamente;
- A idade das instalações e dos equipamentos;
- O nível de investimento de substituição e as actualizações tecnológicas;
- A interacção com os eventuais projectos de racionalização e expansão;
- A localização geográfica das instalações;
- A maior ou a menor facilidade do acesso aos recursos (serviços) qualificados;
- Outros factores externos não operacionais.

2.4.1 – A caracterização do nível de manutenção adequado

Ao nível estritamente operacional interessa para cada caso concreto observar, medir e comparar qual o nível mais adequado das actividades de manutenção e, consequentemente, a eficiência e o custo de manutenção através dos *benchmarks*. Segundo Pinto, C. V. (2002) no sector químico, onde a actividade da produção de pasta para papel se insere, os custos de manutenção podem variar entre 5% a 7% em relação ao volume das vendas. Assim, para além da possível optimização de custos referida no subcapítulo 1.6.1 o autor atrás citado considera também o “volume de vendas” como um factor condicionante da actividade operacional.

Pelo atrás referido pode-se inferir que em determinados períodos de tempo ocorra a sub-manutenção dos equipamentos quando os volumes (quantidades) das vendas são menores e, pelo contrário, a sob-manutenção quando se verificar o contrário. No entanto, em nosso entender a caracterização do nível de manutenção mais adequado deve depender principalmente do estado e da condição dos equipamentos e não, como atrás referido, do volume de vendas. Assim, de acordo com o subcapítulo 1.4.1, a manutenção preventiva sistemática pode fazer sentido para determinados modos de falha cujo risco de avaria dependa de factores intimamente interligados com o processamento dos produtos ou com a variável tempo; a manutenção correctiva depende da necessidade da melhoria da capacidade, eficácia, segurança e durabilidade e, finalmente, a manutenção curativa das ocorrências fortuitas de avarias.

O nível de manutenção a que nos referimos depende principalmente do número e da repetição das avarias (pedidos de reparação) verificadas comparadas com a *performance* esperada dos equipamentos e medida através de processos estocásticos. Craveiro (2000), da empresa MIIT, considera como aspectos a tomar em conta nos custos e nível de manutenção: a optimização dos percursos de manutenção; a optimização da manutenção preventiva; a gestão de stocks; a gestão do tempo e, finalmente, as decisões de reparação ou substituição de equipamentos. Algumas tarefas de manutenção sistemática são manifestamente desnecessárias e por isso devem ser eliminadas ou substituídas por outras que possam realmente evitar o risco de avaria. Knapp e Mahajan (1998) referem que um dos objectivos operacionais da manutenção é possuir os recursos necessários com os conhecimentos requeridos para responder às tarefas necessárias.

A gestão do tempo suportada pelo planeamento das tarefas e a racionalização dos percursos das rotinas de manutenção são aspectos que influenciam o nível de manutenção. As decisões de reparação ou substituição de equipamentos de baixo custo e fiabilidade elevada podem ser encarados como consumíveis e, portanto, não justificam à partida tarefas de reparação. Em situações limite pode não ser economicamente viáveis tarefas de manutenção preventiva por ser mais barato o componente ou o equipamento chegar ao seu fim de vida. As inspecções visuais ou sensoriais quando efectuadas correctamente pela(s) equipa(s) da Produção podem contribuir significativamente para uma redução significativa das tarefas sistemáticas de manutenção. Murty e Naikan (1995) apresentam uma relação entre disponibilidade dos equipamentos e o nível de manutenção onde se incluem os respectivos custos. Quando possível a análise determinística dos dados medidos sobre os equipamentos através de sensores *on-line* esta possibilita indicações ao pessoal da Produção e da manutenção acerca da condição dos equipamentos e, por isso, permite a reduzir e otimizar o nível de manutenção sobre os equipamentos. Também a tipificação dos principais modos de falha da actividade industrial como por exemplo a corrosão nas fábricas de produção de pasta branqueada para papel e a utilização ou não dos materiais adequados são, segundo Brongers e Mierzwa (2000), aspectos relevantes a considerar nos custos e, consequentemente, no nível de manutenção.

Os factores atrás referidos suportados por adequados circuitos de informação influenciam o nível da actividade da manutenção pelo menos nas seguintes dimensões:

- Dimensionamento das equipas operacionais;
- Materiais do stock de armazém a aguardarem aplicação nos equipamentos;
- Previsão das ocorrências (avarias).

2.5 – A gestão dos circuitos de informação

As organizações e em particular o(s) serviço(s) de manutenção necessitam de informação clara e concisa não só acerca das condições de funcionamento dos equipamentos, dos pedidos de reparação, das especialidades envolvidas e as equipas necessárias, dos custos da mão de obra e dos materiais mas, também, das actividades internas (oficinas de recondicionamento e armazéns) e externas (auditorias).

Os circuitos de informação devem convergir de forma a depois de analisados os resultados da *performance* da manutenção permitirem à gestão dos diferentes serviços as tomadas decisão que contribuam continuamente para a melhoria da fiabilidade operacional.

A informação é cada vez mais abundante e de fácil acesso pois trata-se de uma área cada vez mais aberta. Ela é por vezes subjectiva e a obtenção da informação de interesse para um determinado caso concreto é muitas vezes de difícil obtenção se não estiver devidamente organizada e estruturada. Na indústria, tal como noutros ramos de actividade, os principais circuitos internos de informação são baseados em dados e avaliações resultantes de ocorrências presentes e passadas; de reuniões entre colaboradores do mesmo serviço ou inter-departamentais; dos fornecedores de recursos e de materiais, de instituições e também através das obrigações legais. O fluxo de informação gerada internamente e a sua gestão conjugada com a proveniente do meio externo permite tomadas de decisão operacionais mais eficazes. Para além dos sistemas de gestão e de informação dos processos de manutenção dos equipamentos a exemplo do MRP – *Material Requirements Planning* e do CMMS – *Computerized Maintenance System*, referidos no subcapítulo 1.9, muitas outras fontes, ferramentas e sistemas podem fazer parte dos circuitos de informação dos serviços de manutenção como por exemplo a possibilidade sempre presente da Internet.

As informações recolhidas muitas vezes oriundas da aprendizagem (interna e externa) através dos erros cometidos conjuntamente com a experiência acumulada do pessoal da manutenção ao longo do tempo, a informação e o *know-kow* proveniente dos construtores e fornecedores de componentes e equipamentos são os principais elementos práticos que alimentam as bases de dados dos sistemas de informação. Verificando-se cada vez mais uma diversidade da informação interessa, apenas, considerar aquela que depois de validada na prática conduza a melhorias concretas da fiabilidade operacional. Segundo Cabral (2004b) a coluna vertebral da informação sobre os equipamentos deve assentar na codificação e na nomenclatura dos activos objecto de manutenção. É a codificação do equipamento (identidade) e a nomenclatura processual (localização) que lhe é atribuída no contexto operacional que é usada através do CMMS nos pedidos de reparação efectuados pela produção e considerada nos planos de manutenção.

Os circuitos de informação usados pelos serviços de manutenção na área industrial tendem cada vez mais a ser efectuados de forma horizontal e transversal entre o serviço de estudo e controlo do processo produtivo, a engenharia de manutenção, as operações (manutenção e produção) e o aprovisionamento de peças e equipamentos. Como consequência da necessidade do tratamento mais rápido e eficaz da informação disponível a cada momento as estruturas das organizações tornam-se mais flexíveis e autónomas em detrimento do elevado número de níveis hierárquicos que conduziam a circuitos de informação verticalizados mais burocratizados e lentos.

Refere-se que no decorrer do presente trabalho se verificou que o acesso aos dados e à informação de interesse para a gestão da manutenção foi em boa parte obtida através das capacidades previstas nos módulos PM e MM do sistema SAP/R3 dedicados à função manutenção e usados nas fábricas do grupo Portucel Soporcel. Este sistema capaz de armazenar grandes volumes de dados pouco desagregados é utilizado e partilhado transversalmente por quase toda a organização como por exemplo a contabilidade, as compras, a gestão de stocks, entre outros serviços, mas não permite eficazmente o planeamento e a programação da carteira de trabalhos com a alocação dos recursos (equipas) nas diferentes especialidades o que conduz, como se observou no decorrer deste trabalho, à utilização de outros *softwares* a exemplo do Project. Também a informação obtida *on-line* e *off-line* acerca da condição dos equipamentos, de algumas bases de dados e de informação sobre a sua fiabilidade, bem como os procedimentos e os sistemas de qualidade são desenvolvidos através de outros sistemas específicos.

A informação de que os operadores de manutenção necessitam era, até certa medida, tradicionalmente prestada através da consulta dos arquivos técnicos e através dos operadores de preparação e métodos de trabalho. Hoje, os sistemas de informação devem permitir disponibilizar *on-line* aos operadores de manutenção toda a informação de que necessitem: os desenhos ou esquemas; a identificação e custo das peças dos equipamentos; a disponibilidade (existência) de peças em armazém; os procedimentos técnicos e de segurança; as instruções de trabalho; os tempos estimados das operações de manutenção; a informação técnica sobre materiais; as ferramentas; os meios de movimentação; etc. A maior eficiência da gestão dos circuitos de informação possibilita elevados ganhos de produtividade das equipas de manutenção em particular ao nível do *shop floor* conforme referido no subcapítulo 1.9 e potenciam os resultados da disponibilidade (fiabilidade e manutenibilidade) dos equipamentos para produzirem.

2.6 – A importância da previsão das ocorrências futuras

As previsões das ocorrências como sejam as avarias dos equipamentos podem ser suportadas através de modelos estocásticos e(ou) determinísticos. Os modelos estocásticos ou pontuais baseiam-se em ocorrências verificadas ao longo do tempo nos componentes dos equipamentos em consequência da degradação do material devido a determinado modo de falha. Os modelos determinísticos são caracterizados pela avaliação da evolução da degradação física do material dos componentes dos equipamentos. O primeiro modelo pode modelar um conjunto de equipamentos enquanto que o segundo um equipamento em concreto.

2.6.1 – A previsão das necessidades. Recursos, materiais e a logística de suporte

Tomando os modelos estocásticos ou pontuais e tendo por base as ocorrências (avarias) verificadas nos equipamentos a sua frequência e repetibilidade é possível caracterizar e prever as necessidades de recursos (mão-de-obra) e materiais (componentes ou equipamentos) a curto prazo e médio prazo.

Os trabalhos de manutenção podem ser classificados, segundo Kelly (1997) e Clamp (1996) entre outros autores, de primeira, segunda e de terceira linhas ou níveis de manutenção correspondentes, respectivamente, às características de menor ou maior capacidade de planeamento e de programação dos trabalhos.

Os trabalhos de terceiro nível dizem respeito a revisões gerais e modificações nos equipamentos onde, para além de requererem conhecimentos e qualificações específicas do pessoal de manutenção, são também necessárias oficinas específicas de apoio para a sua execução. Estes trabalhos são normalmente efectuados com a instalação parada e ocorrem com frequência com intervalos de tempo mais longos.

Típicamente na indústria de pasta para papel, objecto deste trabalho, o terceiro nível de trabalhos de manutenção verifica-se aproximadamente com uma periodicidade anual e, em menor escala, durante os períodos necessários para a(s) lavagens da(s) caldeira(s) de recuperação que podem ocorrer entre 2 e 4 vezes durante um ano.

Os trabalhos de primeiro e segundo níveis de manutenção referem-se às reparações e inspecções requeridas pela produção sendo efectuadas na maior parte das vezes com os equipamentos e a instalação em funcionamento recorrendo-se, se necessário, às chamadas reparações mínimas referidas no subcapítulo 1.4.1. O *interface* dos operadores da produção com os da manutenção é aqui particularmente relevante nos trabalhos *in-situ* daí decorrentes. Insere-se particularmente no nível de manutenção 1 os casos de reparações ou substituições de componentes que avariam e que provocam simultaneamente indisponibilidade do equipamento e *down-time* da instalação caracterizados no subcapítulo 1.6.2.

De acordo com os eventos atrás referidos, característicos do contexto operacional em concreto, previstos ou planeados e esperados ou não é possível fazer-se previsões das necessidades de recursos Humanos e materiais. A previsão das necessidades é, tradicionalmente, efectuada através da estimativa dos tempos de execução das principais operações dos trabalhos de manutenção associadas, respectivamente, ao número de executantes necessários e aos materiais previstos utilizar. Na indústria de processo os tempos e a dimensão das equipas são tradicionalmente atribuídos caso a caso para cada pedido de trabalho que é solicitado aos serviços de manutenção, mas podem estar previamente definidos e standardizados no CMMS e associados, assim, a cada equipamento ou a famílias de equipamentos e operações típicas de manutenção.

Segundo Tsang (2002) quando se verifica uma reduzida quantidade de trabalhos para executar podem ser formados *clusters* de famílias de equipamentos. Segundo o autor atrás citado os trabalhos de manutenção em motores, caixas de engrenagens e bombas podem constituir um *cluster* para o qual existe um grupo de técnicos de manutenção com adequadas qualificações agregadas. As tarefas desempenhadas por estes técnicos relacionam-se através de 4 factores: tecnologia, informação, interacção e interdependência entre tarefas.

Finalmente, os níveis de manutenção 1, 2 e 3 atrás referidos também podem corresponder aos trabalhos do tipo planeado e sistemático previstos no plano de manutenção de cada equipamento e, por isso, permitem à partida a previsão antecipada da mão-de-obra e os materiais necessários à sua execução.

Relativamente aos materiais e segundo Cabral (1998a) interessa fazer uma distinção entre materiais de consumo e peças de reserva ou sobressalentes necessários aos trabalhos de manutenção. Os primeiros dizem respeito aos de utilização corrente como por exemplo lubrificantes, parafusos, tubos e acessórios, fusíveis, lâmpadas, condutores eléctricos, etc. Os segundos são peças ou equipamentos específicos que se destinam a substituir peças degradadas ou defeituosas dos equipamentos produtivos objectos de manutenção. A logística associada aos materiais interfere directamente com a *performance* dos serviços de manutenção tendo também em conta as previsões para os trabalhos a executar. Por isso a logística deve permitir:

- A gestão dos materiais sem os ter fisicamente em armazém;
- Disponibilizar os materiais necessários aos equipamentos e onde se utilizem;
- A localização rapidamente dos materiais em armazém;
- O acompanhamento e controlo das movimentações dos materiais.

Como consequência da previsão das necessidades é também possível:

- Libertar informação financeira rigorosa para a gestão da empresa;
- Reduzir o imobilizado em armazém;
- Identificar e condenar os “monos”;
- Conhecer o que se tem e quanto vale.

Reis (2005), apresenta a noção de stock, do consumo e da designação e codificação dos materiais. Faz ainda referência à importância da informática no aprovisionamento e aborda a filosofia JIT - *Just-In-Time* na integração de sistemas que segundo Lubben (1989) requer três componentes fundamentais:

- Comprometimento com a filosofia JIT;
- Trabalho em equipa;
- Comprometimento com a melhoria contínua.

Num dado momento a previsão das horas de trabalho de manutenção podem ser quantificadas através do *backlog*, analisado no subcapítulo 2.6.2, representando, neste caso, o tempo para uma equipa de manutenção concluir todos os trabalhos pendentes.

2.6.2 – O dimensionamento das equipas *insourcing* e *outsourcing*

Tsang (2002) refere-se à forma tradicional da organização e à estrutura da manutenção. O serviço de engenharia e projecto são os responsáveis pelos novos *designs* e modificações nos equipamentos; o serviço de produção pela sua operação e o serviço de manutenção é o responsável por manter os equipamentos a funcionar. Os pedidos de reparação efectuados pela produção ou pela manutenção são registados no CMMS e são, posteriormente, transformados em ordens de execução imediata quando se tratam de pedidos que reportem o mau funcionamento ou a paragem de equipamentos. Neste caso, o atendimento dos pedidos de reparação, verificação ou inspecção que são dirigidos aos serviços de manutenção são, normalmente, do tipo *first-in first-out*.

O *backlog*, ou seja o trabalho traduzido em horas ou em quantidade de trabalho(s) de possível execução mas em atraso, está intimamente ligado com o dimensionamento e a produtividade das equipas dos serviços de manutenção; com a quantidade de pedidos de trabalhos de manutenção mais ou menos urgentes e com os pedidos gerados automaticamente através das ordens sistemáticas provenientes dos planos de manutenção. A adequada preparação, planeamento e programação da maioria dos trabalhos de manutenção e em particular os em conjunto com a produção são também factores que influenciam o valor do *backlog*. Os trabalhos de manutenção a aguardar uma paragem são por isso previstos executar quando estas circunstâncias ocorrerem (paragens planeadas ou inesperadas das instalações). São trabalhos em atraso e portanto considerado também *backlog* mas qualificado e quantificado de forma diferenciada do anterior. Amgen, Inc. (2003) apresenta exemplos da qualificação do(s) *backlog*'s. Cabe aqui fazer a distinção entre planeamento e programação. Tomando as Normas Portuguesas para a manutenção PrNP 3704-2/1989 elas especificam que o “plano de manutenção” define com antecedência a sequência das acções de manutenção a realizar ao longo do ciclo de vida de um equipamento. Enquanto que o “programa de manutenção” define no tempo as actividades de manutenção estipulando as datas de realização e os recursos necessários para as realizar. Cabral (2004b) apresenta um exemplo de um programa de manutenção onde coube a intervenção de um empilhador. Esta intervenção efectuada em 14.03.07 especificava que nesse dia foram necessários 4 Hh (Homem x hora) da especialidade mecânica e 2 Hh da especialidade eléctrica sendo também necessários 60 litros de óleo da qualidade X.

Na Web site www.lifetime-reliability.com/maintenance acedido em 08.06.07 considera-se que a programação dos trabalhos de manutenção é feita para períodos semanais e que o efectivo dos diferentes serviços de manutenção deve estar dimensionado para responder à conclusão de todos os trabalhos pendentes durante aquele período de tempo considerando, neste caso, que mais nenhum trabalho é adicionado. Duffa *et al* (2006) abordam a temática do planeamento e controlo dos sistemas de manutenção e Patrick (2002) refere-se em particular ao planeamento nas paragens programadas das instalações para manutenção. Na Web site www.plant-maintenance.com consultado em 08.06.07 é referido que na prática operacional encontram-se várias dificuldades na gestão do *backlog* devido por exemplo à duplicação das ordens de trabalho, à ausência de standardização dos textos dos pedidos de trabalhos e também a deficientes estimativas dos tempos de execução. A gestão do *backlog* requer em primeiro lugar e antes de mais que o pedido de trabalho seja correctamente identificado e caracterizado entre a manutenção e a produção para que possa passar a ordem de trabalho. Em determinados serviços de prestação de serviços domésticos e até nos cuidados médicos, entre outros, são os *call-centers* que em primeiro lugar caracterizam o tipo de pedido da necessidade e encaminham-no para o serviço de atendimento mais adequado. No caso da manutenção industrial são os responsáveis pelos serviços que devem validar (liberar) um pedido de manutenção para ordem de trabalho.

Tsang (2002) considera que a organização e a estrutura da manutenção no que diz respeito à centralização e descentralização das equipas de manutenção influem a sua flexibilização e movimentação. A especialização necessária para atender a certo tipo de trabalhos de manutenção em equipamentos específicos e pouco frequentes, como por exemplo em variadores de frequência, requer a centralização de recursos enquanto que trabalhos ou operações mais frequentes, como por exemplo a regulação do caudal e pressão dos rotâmetros das bombas hidráulicas podem ser efectuados com equipas descentralizadas. O autor atrás citado considera que o recurso ao *outsourcing* já abordado nos subcapítulos 1.7.2 e 1.7.3 é praticado nas seguintes condições:

- Quando não existe capacidade dos recursos internos para determinados “picos” de trabalho;
- Quando o volume (quantidade) de trabalhos é pequeno e não se justificam recursos em *stand-by* para atender aos pedidos de manutenção;

- Quando a Organização não possui o conhecimento e a especialização necessária para determinados trabalhos de manutenção ou reparação de equipamentos e para tal os custos se tornam proibitivos.

Taylor e Felton (1993) apresentam os conceitos dos sistemas sociotécnicos (STS) como base teórica dos SMT's – *Self Managing Teams* propostos por Kolodny e Stjernberg (1993). Estas pequenas equipas multivalentes são responsáveis pela obtenção de determinados resultados fixados em objectivos através de tarefas integradas que executam, monitorizam e controlam continuamente a sua *performance*. As equipas são constituídas por elementos da operação e da manutenção e executam em conjunto tarefas operacionais do dia a dia (primeira linha de manutenção) com o mínimo de supervisão. Hackman (1986), Kolodny e Stjernberg (1993) e Gephard e VanBuren (1996) reportam exemplos de sucesso de SMT's.

Em bastantes processos de manutenção os intervalos de tempo entre as chegadas e os atendimentos seguem, de acordo com Kung e Hsu (1998), Penta *et al* (2001) e Antoniol *et al* (2001), uma distribuição de Poisson e tempo de atendimento segue uma distribuição estatística exponencial negativa. Cross e Harris (1998) consideram a utilização da distribuição exponencial negativa para valores da razão entre do desvio padrão e a média (coeficiente de variação) entre 0,7 e 1,3. Vários autores, como por exemplo Resing (2001), referem em conjunto as leis de Little (1961) e as propriedades particulares das chegadas que denominam por PASTA – *Poisson Arrivals See Time Averages*. Nain (1998) apresenta, entre outros autores, o caso do *repairman model* que é desenvolvido no curso *Performance Evaluation of Computer Systems* da Universidade de Massachusetts de 1994.

Canuto e Pereira (2006) apresentam um modelo que se desenvolve no subcapítulo 3.3 baseado na teoria das filas de espera para o dimensionamento das equipas de manutenção em regime de *insourcing* para atender aos pedidos de manutenção que constituem o *backlog*. Jardine (1979) trata o dimensionamento das equipas *outsourcing* necessárias nos “picos” de trabalho para executar durante as paragens de oportunidade do equipamento ou paragens programadas das instalações através de um modelo que se desenvolve no subcapítulo 3.4 e que considera em simultâneo o intervalo de tempo definido da paragem e a minimização dos custos de manutenção por unidade de tempo.

2.7 – Resumo histórico bibliográfico

Em primeiro lugar apresenta-se uma breve resenha histórica dos principais contributos sobre os conceitos que hoje também envolvem o processo de manutenção industrial e a sua gestão. Posteriormente enfatizam-se os aspectos mais directamente relacionados com o presente trabalho.

A função manutenção e a sua gestão têm evoluído desde 1950, onde ainda procura a sua voz, até ao início do século XXI já integrada nas estratégias e nas políticas das empresas. A actividade da manutenção inicialmente efectuada apenas de forma paliativa é hoje considerada como potenciadora de resultados que se integram na gestão global das empresas. A percepção da importância da fiabilidade dos componentes e dos equipamentos surge nos E. U. A. durante a 2ª Guerra Mundial devido, especialmente, à inoperacionalidade e às avarias do material electrónico. A origem histórica do estudo da fiabilidade e dos factores RAMS – *Reliability, Availability, Maintainability and Safety*, compilados por Kececioglu (1991), teve origem nos E. U. A. onde foi criado em 1952 o AGREE – *Advisory Group on the Reliability of Electronic Equipment*. Em 1962 a AFIT – *Air Force Institute of Technology* em Dayton, Ohio, é a primeira instituição educacional a iniciar um programa de mestrado em engenharia de fiabilidade de sistemas. Em 1970, no Reino Unido, depois de efectuado um estudo que demonstrava o dispêndio de elevadas verbas com a manutenção nasce a terotecnologia como alternativa técnica capaz de combinar os meios financeiros, estudos de viabilidade, técnicas e métodos de gestão de modo a otimizar os ciclos de vida dos equipamentos. Em 1972, de acordo com Leite (2000), depois de fundada a EFNMS – *European Federation of National Maintenance Societies*, foi apresentado na Alemanha na 1ª Conferência Internacional de Manutenção o conceito do custo do ciclo de vida (LCC – *Life Cycle Cost*) dos equipamentos. Paralelamente a escola latina liderada pela França propõe aumentar a produtividade das empresas através da manutenção o que implicou o trabalho em equipa dos vários serviços e em diferentes níveis hierárquicos coordenados por uma direcção. A gestão da manutenção é integrada na gestão da empresa e é desenvolvida através da gestão dos equipamentos, da gestão dos pedidos de intervenção e da mão de obra, da gestão de stocks (peças e materiais), a gestão das compras e, finalmente, o controlo e apuramento de custos. A “segurança de funcionamento” surgiu no vocabulário francês, de acordo com Sena (2001), aplicando-se a sigla FDMS como

equivalente da RAMS. O TPM – *Total Productive Maintenance* hoje conhecido, segundo Pinto (2006), por *Total Productive Management*, foi desenvolvido no Japão nos anos 70 como filosofia orientada para a redução dos custos de produção na Nippon Denso filial da Toyota e também para a satisfação eficiente das necessidades e expectativas dos clientes. Este método baseia-se na determinação da melhor taxa de utilização dos equipamentos a partir do conceito de “rendimento sintético” equivalente ao de “custo do ciclo de vida” da escola anglo-saxónica. As normas francesas X60-010 e X50-501 surgem em 1988 para caracterizar a actividade da manutenção e, na qualidade, Deming (1986) foi, segundo Pires (2000), um dos grandes vultos da revolução da qualidade, tendo sido ele a fornecer o maior contributo para a reconstrução Japonesa no após-guerra. De acordo com Montgomery (1997) a Sociedade de Controlo de Qualidade Americana é fundada em 1946, no final dos anos 50 Feigenbaum define o Controlo Integrado da Qualidade como “um sistema efectivo que integra os esforços de desenvolvimento da qualidade, manutenção e melhoria da qualidade dos diversos grupos numa organização que garantem a completa satisfação do consumidor” e Garvin (1987) descreve as principais dimensões do conceito de qualidade. A fiabilidade como ciência, segundo Leitão (1989), tem uma origem relativamente recente. De acordo com Pereira (1996) a necessidade de desenvolver métodos estatísticos para o estudo da fiabilidade começam a surgir no início dos anos 60 restringido à distribuição exponencial e desenvolvem-se durante os anos 70 com a aplicação da distribuição de Weibull. Surge também nessa época o método da árvore de falhas e o método FMEA – *Failure Mode and Effect Analysis*. De um modo geral os autores que se debruçam sobre a fiabilidade como Ireson *et al* (1988), Lyonnet (1989) e mais recentemente O’Conner (1992), entre outros, suportam os seus trabalhos com uma base estatística e probabilística. Por outro lado surgem, ainda, nos anos 70 as primeiras técnicas não paramétricas ou semi-paramétricas desempenhando, neste campo, um papel fundamental o trabalho de Cox (1972) que teve em vista o área da medicina e a possibilidade da aplicação no domínio da engenharia. O RCM – *Reability Centred Maintenance* foi desenvolvido durante um período de 30 anos. Um dos principais marcos no seu desenvolvimento foi o relatório do Departamento de Defesa dos E. U. A. para a United Airlines e preparado por Stanley Nowlan e, depois, por Howard Heap em 1978 onde pela primeira vez se admitiu vários padrões de falha dos equipamentos e se analisa as suas consequências das falhas no contexto operacional incluindo a segurança e o meio ambiente. Por outro lado a história do pensamento da gestão de acordo com

Pinto (2006) é, em grande parte, resultado dos trabalhos publicados à volta do tema “produção” por Taylor (1911), Ford (1926), Smith (1950), Babbage (1963) e Slack *et al* (2004). A gestão científica está associada a Taylor que baseava-se na observação, medição, análise e melhoria dos métodos de trabalho e na aplicação de incentivos monetários. Enquanto a gestão científica enfatizava os aspectos técnicos do trabalho o movimento das relações humanas surge através de Mayo e Maslow entre as décadas de 30 e 40. Nos anos 60 McGregor introduziu a teoria X e a teoria Y. Nos anos 70 William Ouchi sugeriu a teoria Z a qual combina as práticas de gestão dos Japoneses tais como o envolvimento das pessoas nos processos, a melhoria contínua, o trabalho em equipa e a criação e a partilha do conhecimento. Segundo Assis (2004) quando nos referimos à fiabilidade de um sistema de produção temos de considerar o papel importante que o Homem desempenha na interactividade com os equipamentos. A fiabilidade é pois o resultado dessa interactividade e, de acordo com Swain (1983), os erros humanos são classificados de forma diferenciada onde se incluem os erros de atraso e de omissão. A técnica normalizada com maior aceitação para a quantificação da análise da fiabilidade humana a THERP – *Technique for Human-Error Rate Prediction* foi desenvolvida por Swain e Guttam (1983). É ao nível do *shop floor* que as coisas acontecem; é o local onde se converte materiais, energia, conhecimentos e experiência em produtos e serviços cujo valor acrescentado é superior à soma dos *inputs*. O tema do valor, de acordo com Murteira (2004), é tão antigo como a própria ciência económica, isto é, remonta pelo menos ao século XVIII quando Adam Smith se interrogava sobre a “riqueza das nações”. Marx considerou que o “trabalho pago” ou a mais-valia foi a origem da acumulação capitalista. Em certo sentido produtividade implicava criação de mais-valia e portanto, segundo Marx, a exploração do trabalho operário. Carvalho, E. (2004) considera uma visão ortogonal relacionada com o conceito de produtividade: valor, rentabilidade, competitividade, trabalho, tecnologia, renumeração, *stakeholders* e pessoas. Segundo Tavares *et al* (1996) estudo das filas de espera remonta ao trabalho de Erlang no início do século XX e em particular a Brockmayer (1948) no estudo de chamadas telefónicas que aguardavam linha para serem encaminhadas. Jardine (1979), introduz esta teoria nas decisões da estrutura organizacional dos recursos da manutenção e no dimensionamento de equipas. Segundo Patton (1994) a manutenibilidade de um equipamento reparável sendo uma característica do seu *design* influencia o tempo de reparação despendido pelas equipas de manutenção quantificado através do MTTR – *Mean Time to Repair* e ainda, segundo O'Connor (1991), o suporte

logístico integrado (ILS). Na linha da teoria geral dos sistemas, proposta por Bertalanffy (1969), surgia em 1960 segundo Brewer e de acordo com Tixier *et al* (1997) o estudo dos fluxos. Em 1968, segundo Carvalho, J. (2002), Gepfert (1968) ousa, pela primeira vez, proclamar a necessidade da constituição de uma área funcional que tomasse conta das distintas actividades de base logística desde a constituição e gestão de stocks, passando pelo transporte e a programação de rotas e terminando na gestão do equipamento e manutenção. A logística fazia surgir as primeiras grandes preocupações na revisão das estruturas organizacionais. Drucker (1992) afirmou: “As empresas para se manterem competitivas, ou mesmo para sobreviverem, têm de se transformar em organizações do conhecimento”. A informação, bem como a sua gestão, tem-se relevado ao longo do tempo decisiva para o desempenho das organizações. Os dados e a informação não são sinónimos. O planeamento a médio prazo dos materiais e das operações surgiu nos anos 60 nos E. U. A., respectivamente, com os métodos MRP – *Materials Requirements Planning* (associado ao modelo da quantidade económica de encomenda desenvolvido uma década antes por Wilson) e CRP – *Capacity Requirements Planning* de forma a garantir que os planos produção possam ser executados. Segundo Pinto (2006) muito do conhecimento e experiência no planeamento a curto prazo SFC (*Shop Floor Control*) ou seja a programação e controlo de operações ainda se encontra residente na indústria e em alguns serviços. Com o desenvolvimento industrial associado à complexidade tecnológica, às exigências dos consumidores e às políticas globais a manutenção, de acordo com Pinto (1994), assume um papel essencial para servir os interesses dos negócios nas perspectivas da segurança, da qualidade, do custo e da disponibilidade dos equipamentos. Justifica-se fazer manutenção por três ordens de razão: económicas, legais e sociais. Detragiache (1994), de acordo com Sena e Pereira (2002), refere que a gestão da manutenção visa essencialmente manter os equipamentos em estado de funcionamento e considera que a abordagem da gestão se deve fazer de acordo com as vertentes económica, técnica e probabilística. A gestão da manutenção tem como factores fundamentais: a gestão da informação; a gestão das actividades de manutenção; a inventariação e a gestão de recursos e, finalmente, a programação das actividades de manutenção internas e sub-contratadas. Durante os anos 70 e 80 desenvolvem-se sistemas de monitorização da condição de equipamentos rotativos, a exemplo da Bentley Nevada e da Bruel & Kjaer, através da análise de vibrações e de ruído. A manutenção surge, assim, pelo menos em certos negócios interligada directamente às actividades primárias e à cadeia de valor

caracterizada por Porter (1985). Segundo Ohmae (1982) quando os recursos de capital, pessoas e tempo são escassos, como acontece hoje, é vital concentrá-los nas funções e áreas operacionais chave que são decisivas para o sucesso de um determinado negócio. Em 1987, segundo Santos (1998), a Eastman Kodak Company encomendou à Electronic Data Systems um estudo relativo à organização dos seus sistemas de informação. O objectivo do estudo, entre outros, era identificar formas da Kodak reduzir os seus custos e melhorar a funcionalidade. Dele resultou a redescoberta da subcontratação através da prática do *outsourcing*. Sendo este termo usualmente empregue para “mandar fazer fora” ou “recorrer a fonte externa” e que segundo Marques (1992) designa por “práticas diversas que assentam em diferentes processos de articulação entre empresas, quer do ponto de vista técnico, quer económico ou, ainda, meramente jurídico”. Neste contexto Leibfried *et al* (1994) caracterizam o *benchmarking* como um processo que procura efectuar comparações na forma como as actividades são desempenhadas na própria empresa e seus resultados, com a forma como elas são realizadas pelas outras empresas da mesma área de actividade. Esta prática destina-se à identificação, selecção e implementação das melhores práticas na própria empresa e pode constituir uma importante ferramenta de suporte à implementação de outras práticas como a reengenharia, o *downsizing* ou mesmo um programa de melhoria contínua como o TQM - *Total Quality Management*. Com o contínuo desenvolvimento da sociedade e tomando em consideração os aspectos relevantes da função e do processo de manutenção surgiu nos E. U. A., segundo Viosca (1998), o conceito de Manutenção de Classe Mundial. Este conceito provém da filosofia ROMTM – *Results Oriented Maintenance* desenvolvido por Idhammar (1997) e pela companhia de consultores da IDCON, Inc. cujos conceitos se fundamentam em muitos dos aspectos atrás referidos e que visa o aumento da produtividade através do CBM – *Condition Based Maintenance* e da manutenção conjunta efectuada pelo pessoal da produção e da manutenção. Esta filosofia fundamenta-se na organização da manutenção em termos de planeamento, preparação e programação dos trabalhos de manutenção antes da sua execução.

Abordados alguns dos principais aspectos e conceitos que hoje também envolvem o processo de manutenção industrial e a sua gestão passa-se, então, à resenha histórica bibliográfica mais actual e que envolve, também, os conceitos mais directamente relacionados com os objectivos e a experimentação apresentada no presente trabalho.

Em primeiro lugar interessa referir que o presente trabalho parte dos conhecimentos existentes (*inputs*) obtidos pela investigação e pela experiência prática, com vista à obtenção de melhorias (*outputs*) operacionais de desempenho da actividade industrial, através da aplicação de modelos que usam a função e o processo de manutenção dos equipamentos produtivos como principal alavanca na pressecução das melhorias. Os riscos proporcionais e as filas de espera são os principais modelos usados neste trabalho que visam reformular o processo de manutenção e simultaneamente obter uma diminuição dos custos operacionais. Assim, passa-se seguidamente à apresentação das principais referências bibliográficas relevantes relativas aos riscos proporcionais e às das filas de espera e de outras com algum interesse particular para o trabalho.

O modelo dos riscos proporcionais foi apresentado pelo professor David Cox em 1972 através de um artigo submetido à “Royal Statistical Society”. O autor considerou insuficientes as técnicas estatísticas desenvolvidas por Kaplan e Meier em 1958 e, analisando a teoria que lhe servia de base, trabalha-as com covariáveis na análise de tabelas de vida ou de sobrevivência. De acordo com Pereira (1996) esta técnica que não necessita de qualquer distribuição estatística específica foi, nos anos iniciais, aplicada ao campo da medicina e só posteriormente na engenharia. Cox & Snell (1989) produzem um trabalho acerca da análise de dados binários e Leitão (1989) faz uma resenha das aplicações desta técnica efectuadas nas áreas da medicina e a sua aplicabilidade da área da engenharia. As principais referências na área da engenharia são, segundo Pereira (1996), Leitão e Newton (1989), Bohoris e Leitão (1989), Lindqvist e Tjelmeland (1989), Petit e David (1990), Marshall *et al* (1990), Baker (1991), Baker e Wang (1993), Srivastava (1993), Sun e Basu (1993), Kumar e Esa (1993), Christer *et al* (1995), Baker (1995). Os riscos proporcionais pertencem a uma área da estatística denominada de análise de sobrevivência (*survival analysis*) são considerados diferenciados dos modelos estocásticos, segundo Mendonça *et al* (2002), porque analisam a influência de várias covariáveis associadas aos tempos entre falhas. Segundo Zhang *et al* (1998) o modelo de análise de sobrevivência de Cox é potente quando se usam em simultâneo muitas covariáveis. Prentice (1973), Kalbfleish & Prentice (1980), Cox (1975), Cox & Oakes (1984), Dale (1985), Ansell (1987), Jardine *et al* (1987), Kalbfleisch & Lawless (1998), Jardine *et al* (1989), Love & Guo (1991), Makis & Jardine (1992), Kumar & Klefsjo (1993), Ferreira *et al* (1996a/b), Klein & Moeschberger (1996), Wisemam e Jardine (1999), Gasmi *et al* (2003), Wand *et al*

(2003) e Li & Zhou *et al* (2006) são, por ordem cronológica, referências ao modelo dos riscos proporcionais. O modelo dos riscos proporcionais considera duas assunções. A primeira é a proporcionalidade entre as covariáveis e a segunda é a relação logarítmica-linear entre as variáveis independentes e a função de risco. Os resultados da análise de sobrevivência subjacente a este método são comparados por Pelz e Klein (1997) do *Medical College of Wisconsin*, Milwaukee, através dos três principais *softwares* usados neste domínio o SAS, o SPSS e o BMDP entretanto desenvolvidos para o efeito.

A teoria das filas de espera, segundo Tavares *et al* (1996), remonta ao trabalho do cientista dinamarquês Erlang (1917) no início do século XX. Brockmeyer *et al* (1948) consideraram a distribuição de Erlang no estudo das chamadas telefônicas que aguardavam para serem encaminhadas. Neste caso, como na actividade da manutenção industrial, a fila de espera é constituída por entidades que aguardam um serviço. Pereira (1996) considera um problema importante para o gestor de manutenção a capacidade de intervenção a partir do momento em que as necessidades são conhecidas. O autor atrás referido cita ainda Kelly e Harris (1977) na previsão de tempos de espera e de reparação baseadas em distribuições estatísticas. Jardine (1979) trata a temática do dimensionamento das equipas considerando os trabalhos a realizar em intervalos de tempo definidos. Nos processos Markovianos a probabilidade de ocorrência de qualquer estado futuro é independente da sequência de acontecimentos passados e por isso são, de acordo com Hillier e Lieberman (1990), estocásticos sem memória. Em bastantes processos de manutenção as chegadas e os atendimentos seguem, de acordo com Kung e Hsu (1998), Penta *et al* (2001) e Antoniol *et al* (2001), uma distribuição de Poisson e tempo de atendimento exponencial negativo. Little (1961) demonstra as relações fundamentais dos sistemas de filas de espera em equilíbrio. Pollaczek e Khintchine, cientistas francês e russo, deduziram, há mais de 50 anos, o tratamento analítico das chegadas Poissonianas e qualquer distribuição para o atendimento do serviço. Prabhu (1960) apresenta resultados para filas de espera com chegadas Poissonianas. Newell (1982) apresenta aplicações da teoria das filas de espera (*queuing theory*). Em Wolff (1989) discute-se o processo de Poisson e as cadeias de Markov. Hall (1991) apresenta os métodos de tratamento de filas de espera para serviços e produção. Gupta *et al* (1971) usam a teoria das filas de espera para planear o trabalho num hospital. Cross e Harris (1998) consideram a utilização da distribuição exponencial negativa para valores da razão entre do desvio padrão e a média (coeficiente de variação) entre 0,7 e 1,3.

Barceló (1996), apresenta um trabalho de estudo e simulação de sistemas discretos. Vários autores, a exemplo de Resing *et al* (2002) e (2004), referem em conjunto as leis de Little (1961) e propriedades particulares das chegadas que denominam por PASTA – *Poisson Arrivals See Time Averages*. Nain (1998) apresenta o caso, entre outros, do *repairman model* do curso *Performance Evaluation of Computer Systems* da Universidade de Massachusetts de 1994. Antoniol *et al* das Universidades de Sannio e Nápoles de Itália apresentam as vantagens da aplicação da teoria das filas de espera na simulação por *software* de actividades que tradicionalmente usam as ferramentas Gantt e Pert. Daly *et al* (1995) e Oman (1995) apresentam análises de manutibilidade intrínsecas aos produtos nas actividades de manutenção. Pigoski e Nelson (1994) e Stark (1996) apresentam a importância dos *softwares* na gestão da manutenção e na melhoria dos processos. Grossman (1999) usam *spreadsheets* para simular eventos discretos. Asundi e Sarkar (2005) dos sistemas de informação e gestão de operações da Universidade do Texas, Dallas, usam as filas do tipo M/M/s para determinar o SLAs – *Service Level Agreements* dos contratos de *outsourcing* de manutenção em companhias de *software*. De acordo com Arora *et al* (2001) na Índia as renovações de contratos de manutenção nesta área representam mais de 60% do total dos contratos efetuados pelas indústrias de *softwares*. Ashley (2000) e Ingolfsson e Gallop (2003) da Universidade de Alberta, Canadá, usam, na Microsoft Excel add-in, a função Queuing ToolPak para analisar as principais características de uma fila de espera. Roldão (2002) considera as filas de espera nos estudos da programação da produção e das operações. Pinto (2006) refere que Johnston e Clark (2005) sugerem que a empresa prestadora de serviços adopte estratégias diversas que minimizem o impacto do tempo perdido pelo cliente na fila de espera. O autor atrás citado refere que nas filas de espera a taxa de chegada (λ) e a taxa de serviço (μ) são equivalentes, respectivamente, ao MTBF – *Mean Time Between Failure* e ao MTTR – *Mean Time to Repair* usados nos estudos da fiabilidade. Hlynka da Universidade de Windsor acedido em 2006 em www.uwindsor.ca apresenta uma lista de diferentes *softwares* sujeita a actualizações. De acordo a Universidade de Tecnologia de Helsínquia as linguagens C, C⁺⁺, Pascal e Java, esta a usada por Pezzullo (2005), são as utilizadas nos diferentes “pacotes” de simulação de sistemas. Bressan (2002) refere o Arena, o Extend, o AweSim, o Simul8 e o GPSS como programas de uso geral; o MODSIM é orientado a objectos; o ProModel e o Witness são vocacionados para sistemas de produção e, ainda, o Arena Business, o ServiceModel (Promodel) e o SimProcess são “pacotes” de reengenharia de processos e de serviços.

3 – Os modelos (parciais) usados no trabalho

3.1 – Introdução

Neste capítulo apresenta-se o suporte teórico dos principais modelos parciais usados na parte experimental deste trabalho correspondente ao capítulo 5. Os modelos enquadram-se na perspectiva da sua aplicação integrada no contexto industrial visando melhorias da gestão da fiabilidade operacional dos equipamentos e das equipas de manutenção. Em consonância com todo o capítulo 2 e em particular com os subcapítulos 2.2.3 e 2.3.3 a aplicação dos modelos parciais apresentados devem permitir através dos seus resultados a criação de valor nos processos de manutenção industrial referidos em 2.1.1, a melhoria da disponibilidade operacional referida no subcapítulo 2.1.5, a optimização dos custos da manutenção e a previsão das ocorrências futuras consideradas, respectivamente, nos subcapítulos 2.4 e 2.6. Assim, seguidamente no subcapítulo 3.1.1 justifica-se a opção pelos modelos semi-paramétrico e paramétrico e depois desta apresentam-se os seus desenvolvimentos teóricos.

3.1.1 – Justificação pela opção dos modelos dos riscos proporcionais e das filas de espera

O modelo dos riscos proporcionais (PHM) apresentado pelo Professor Cox em 1972 através de um artigo submetido à *Royal Statistical Society* pode também ser aplicado no domínio da fiabilidade dos equipamentos. Pereira (1996) considera que este modelo é muitas vezes preterido devido ao facto da aplicação das distribuições estatísticas não necessitarem de tantos dados comparativamente à aplicação do PHM e também por estarem muito mais divulgadas junto dos engenheiros ligados às práticas da fiabilidade. O autor atrás citado caracteriza os modelos de fiabilidade em determinísticos, estatísticos e funcionais e faz, também, uma súmula bibliográfica das suas aplicações fiabilísticas. O mesmo autor considera ainda muito vantajosa a aplicação do modelo dos riscos proporcionais em detrimento dos modelos puramente estatísticos quando se pretende conhecer o tempo para o qual o risco de avaria aumenta aproximando-se, assim, do tempo médio entre avarias (MTBF) e ao mesmo tempo determinar as “causas” (factores) intrínsecas ou extrínsecas aos equipamentos associadas a determinado(s) modo(s) de falha responsáveis pelas ocorrências das avarias.

Validadas as razões das “causas”, conhecidos os tempos e as circunstâncias em que as avarias ocorrem, é possível reformular as tarefas operacionais e por consequência acrescentar-lhes mais valor operacional. A consequente modificação e optimização das tarefas operacionais existentes por outras de maior valor e, em particular, as que dizem respeito à actividade da manutenção permitem interagir condicionalmente e não sistematicamente com o contexto operacional. Por outro lado, por não se verificar na prática operacional dos serviços de manutenção industrial o recurso e a utilização de modelos teóricos de fácil manipulação que permitam conduzir ao dimensionamento das equipas de manutenção internas (*insourcing*) e subcontratadas (*outsourcing*) em função das reais necessidades operacionais considera-se também vantajosa a aplicação do modelo de filas de espera. Refere-se no entanto que este modelo já remonta ao trabalho de Brockmayer (1948) no estudo das chamadas telefónicas que aguardavam linhas para serem encaminhadas.

Neste trabalho no âmbito industrial e comparativamente com o trabalho do autor atrás citado refere-se que as chamadas telefónicas são representadas, neste caso, pelos pedidos (notificações) de manutenção que por sua vez são solicitados quando as funções dos equipamentos são afectadas por falhas funcionais caracterizadas no subcapítulo 2.1.3 (independentemente da sua classificação). O encaminhamento das chamadas telefónicas corresponde ao atendimento das avarias dos equipamentos por parte dos serviços de manutenção que proporcionam o diagnóstico, se necessário, a reparação e os ensaios. Face ao atrás exposto torna-se necessário por parte dos diferentes serviços de manutenção analisar as seguintes situações operacionais possíveis:

- Atender aos pedidos de manutenção sem a necessidade de paragem do equipamento;
- Atender aos pedidos de manutenção que aguardam a paragem do(s) equipamento(s).

Na primeira das situações atrás referidas o modelo das filas de espera sem memória é usado neste trabalho para o dimensionamento das equipas dedicadas (*insourcing*), referidas no subcapítulo 4.1.6, a cada uma das principais especialidades (serviços) da manutenção industrial para atender um grande número e variedade de equipamentos. Neste caso, o modelo é caracterizado pelo processo estocástico de “vida” e de “morte” representando na prática, respectivamente, as chegadas pontuais dos pedidos de manutenção e o posterior atendimento sem limitações físicas às reparações requeridas.

Na segunda situação também atrás referida e de acordo com Jardine (1979) considera-se a oportunidade de subcontratar equipas para a execução durante um determinado período de tempo para os trabalhos (pedidos) de manutenção que aguardam a paragem de equipamentos. Finalmente, através da conjugação dos modelos parciais atrás referidos torna-se viável, por um lado, melhorar a fiabilidade dos equipamentos e, por outro, a redução dos custos de manutenção como adiante se verá no capítulo 5.

3.2 - O modelo dos riscos proporcionais. PHM - *Proportional Hazard Model*

O modelo dos riscos proporcionais (PHM) de Cox usado neste trabalho é uma técnica semi-paramétrica, já referida nos subcapítulos 1.5.2.2, 2.1.4 e 2.2.3, caracterizada pela utilização de covariáveis e de uma função de risco log-linear. Uma família de riscos proporcionais incorpora diferentes “indivíduos” com funções de risco proporcionais, onde a razão entre duas funções de risco para os “indivíduos” distintos não varia com o tempo. O PHM sendo um modelo exponencial é um modelo de regressão expresso através de uma função de risco base não especificada que é condicionada a um evento (avaria) ocorrer no intervalo de tempo $[t, t+\Delta t]$ sabendo-se que não ocorreu até t e por uma matriz constituída por vectores em linha e coluna. Os vectores em linha são quantificados por grandezas (factores) designadas por covariáveis que são observadas nos equipamentos e os vectores em coluna representam os coeficientes de regressão que se pretendem determinar. Este modelo pontual pode também assumir uma distribuição estatística e neste caso a mais usada é a de Weibull referida no subcapítulo 1.5.2.1.

O modelo dos riscos proporcionais pode ser apresentado através da expressão 3.1, onde as funções obtidas são proporcionais umas às outras ao longo do tempo de sobrevivência ou funcionamento do equipamento (sistema).

$$h(t;Z) = h_0(t) \cdot e^{(Z_1 \cdot \beta_1 + Z_2 \cdot \beta_2 + \dots + Z_n \cdot \beta_n)} \quad (3.1)$$

No modelo $h_0(t)$ representa uma função de risco base arbitrária e não especificada em função do tempo; Z representa o vector linha nas n covariáveis utilizadas e medidas; β representa o vector coluna dos n coeficientes de regressão que se pretendem determinar e, finalmente, t representa o intervalo de tempo associado a cada avaria (falha).

Os valores das covariáveis Z 's podem ser contínuas, representando os valores medidos e relacionados com o funcionamento dos equipamentos (valor do nível de vibração, velocidade da pasta vs velocidade de subida dos cilindros, variação da consistência, etc.), ou discretas representando, neste caso, a presença ou a ausência de um determinado factor (tipo de acção de manutenção, eventos após arranque, característica do material, etc). Segundo Pereira (1996) as covariáveis podem ainda ser internas ou externas aos equipamentos. As externas, como por exemplo a variação da consistência da pasta, são as geradas independentemente do mecanismo da falha.

O modelo dos riscos proporcionais baseia-se na função de risco como um produto de dois factores em que o primeiro é a função de risco base e o segundo é um termo exponencial que inclui o efeito específico das diferentes covariáveis.

A função de risco comporta-se como se viu no final do subcapítulo 2.1.3, o qual corresponde às páginas 109 e 110, de uma forma diferente da taxa de avarias apesar da contagem dos tempos ser efectuada entre cada período entre avarias dos componentes do equipamento. A função de risco base representa a função de risco que o sistema apresentaria se todas as covariáveis tomassem o valor zero. Leitão (1989) chama a atenção da importância das variáveis discretas binárias tomarem os valores de 0 ou 1 pois, caso contrário, a função de risco base perde o seu significado físico.

O modelo é aplicado para deduzir os efeitos que determinadas covariáveis poderão ter na ocorrência de avarias e como consequência na fiabilidade dos equipamentos. As covariáveis actuam de forma multiplicativa na função de risco base e podem representar situações que ocorreram ou parâmetros intrínsecos ou extrínsecos medidos directa ou indirectamente nos equipamentos. Assim, o modelo permite identificar quais as covariáveis com efeitos significativos durante o tempo de vida (serviço) dos equipamentos sujeitos a determinado(s) modos de falha até à ocorrência da avaria. Por isso, neste trabalho, o modelo representa a forma de analisar dados referentes aos tempos entre avarias para, partindo de certas condições assumidas à partida, estimar os efeitos dessas covariáveis na fiabilidade dos equipamentos (sistemas) em estudo. Posteriormente podem ser tomadas acções que contrariem os efeitos indesejáveis das covariáveis significativas. O modelo dos riscos proporcionais modela a função de risco através do produto entre dois factores a seguir são referidos.

O primeiro factor é comum a todos os elementos do conjunto de itens considerados e o segundo, representado por $\exp(Z_n, \beta_n)$, é um termo exponencial que considera o efeito das diferentes covariáveis consideradas em cada elemento do conjunto de itens em estudo. O modelo PHM é caracterizado pelos coeficientes β que “medem” o efeito das covariáveis na função de risco. Desta maneira é necessário um modelo de estimação para se fazer a inferência do modelo.

Segundo Pereira (1996) os modelos de riscos proporcionais podem ser paramétricos e não paramétricos consoante se assuma ou não uma distribuição estatística para a função de risco. Em qualquer dos casos atrás referidos pressupõem a ocorrência de um processo não homogéneo de Poisson como gerador dos tempos de avaria caracterizados no *Engineering Statistics Handbook* por NHPP – *Non Homogeneous Poisson Process*.

As covariáveis podem ser externas se forem geradas independentemente do mecanismo da falha que origina a avaria, como é o caso do efeito das condições imediatamente a seguir ao arranque dos equipamentos, ou podem ser internas quando são quantificadas directamente ou indirectamente no equipamento durante o tempo de funcionamento e, neste caso, representam um mecanismo de falha que lhe é intrínseco. As covariáveis actuam de forma multiplicativa na função de risco base para as diferentes combinações de valores que tomam. As funções assim obtidas são proporcionais umas às outras ao longo do tempo de sobrevivência ou de funcionamento sendo esta propriedade que confere o nome ao modelo. Pereira (1996) considera que poderá ser bastante morosa, mas necessária, a obtenção do conhecimento das condições de utilização ou de operação de um sistema (equipamento), bem como da sua proporcionalidade.

Pereira (1996) chama a atenção para as dificuldades sentidas de início com a selecção e definição das variáveis por quem pretende testar a aplicação do modelo. Refere também que a escolha das variáveis pode facilmente ser ultrapassada através do conhecimento dos sistemas (equipamentos) em estudo e das condições em que se processa a sua utilização. O autor atrás citado refere, também, que o modelo dos riscos proporcionais, como técnica não paramétrica, possui a vantagem de se poder modelar o comportamento da fiabilidade dos equipamentos (sistemas) sem ter que recorrer a qualquer distribuição pré-definida; tem, no entanto, a desvantagem da complexidade resultante de não se considerar uma técnica paramétrica.

3.2.1 – Estimativas por verosimilhança e estimação dos coeficientes de regressão

Pereira (1996) apresenta dois principais processos de estimação dos coeficientes de regressão designados por verosimilhança condicional e verosimilhança marginal para o caso em que não se considera, à partida, uma função de risco base definida. Neste trabalho os coeficientes são estimados através da verosimilhança condicional desenvolvidos na apresentação feita pelo autor atrás citado que se baseia no conceito da probabilidade condicional de avariar (falhar) o indivíduo (componente) i no momento t_i sabendo-se que esteve em risco e sobreviveu (não avariou) até esse momento e que existem, ainda, um conjunto $\mathfrak{R}(t_i)$ de indivíduos (componentes) que também estão em risco de avariar. Esta probabilidade é dada pela expressão 3.2.

$$[h_0(t) \exp(z_i\beta) / h_0(t) \sum_{l \in \mathfrak{R}(t_i)} \exp(z_l\beta)] = [\exp(z_i\beta) / \sum_{l \in \mathfrak{R}(t_i)} \exp(z_l\beta)] \quad (3.2)$$

Na expressão 3.2 $\mathfrak{R}(t_i)$ representa o conjunto de unidades individuais em funcionamento em t_i , Z as covariáveis e β os coeficientes de regressão já atrás apresentados. Pereira (1996) refere que para uma amostra aleatória de N indivíduos com K tempos de falha e $N-K$ tempos censurados, que podem ocorrer quando não se verifica a avaria no período de tempo considerado, os tempos de avaria representados por $t_1 < \dots < t_k$ usados pela ordem do menor para o maior contribuem, assim, com um factor daquela forma.

Assim, a verosimilhança condicional representa o produto de todos os factores associados aos K tempos de avarias observadas sendo representada pela expressão 3.3.

$$L(\beta) = \prod_{i=1}^K [\exp(z_i\beta) / \sum_{l \in \mathfrak{R}(t_i)} \exp(z_l\beta)] \quad (3.3)$$

Leitão (1989) apresenta outra forma para a estimação dos coeficientes de regressão devida a Breslow sendo, segundo aquele autor, a que vem sendo correntemente utilizada nos *softwares* a exemplo do BMDP. O estimador atrás referido é apresentado em 3.4.

$$L(\beta) = \prod_{i=1}^K [\exp(s_i\beta) / (\sum_{l \in \mathfrak{R}(t_i)} \exp(z_l\beta))^{d_i}] \quad (3.4)$$

Onde $s_i = \sum z_{ij}$ representa a soma dos valores das covariáveis dos indivíduos (componentes) que falharam em t_i e d_i o número de indivíduos que falharam em t_i .

Acrescenta-se que o *software* Statistica e o programa em JavaScript de Pezzullo (2005) utilizado neste trabalho através da Internet usam, também, a mesma forma proposta por Breslow para a estimativa dos coeficientes de regressão e o método de Newton-Raphson já apresentado no subcapítulo 2.2.3 para o cálculo da estimativa dos valores de β que maximizam a função de verosimilhança atrás apresentada.

3.2.2 – Processo de estimação dos parâmetros de β e os softwares para o efeito

Para efectuar o cálculo de estimação recorre-se ao logaritmo da função de semelhança e, depois, à derivada da função de semelhança logarítmica assim obtida. Os valores máximos de $L(\beta)$ obriga ao cálculo das derivadas parciais de primeira e de segunda ordem a cada um dos β 's. O método Newton-Raphson ou de Newton-Fourier é um processo entre outros para a determinação das raízes na resolução de equações não lineares e actua sobre os valores de β de uma forma iterativa para maximizar a função de semelhança. A verosimilhança logarítmica condicional pode ser definida a partir da expressão 3.5.

$$\ln L(\beta) = \sum_{i=1}^K s_i \beta - \sum_{i=1}^K d_i [\ln \sum_{l \in \mathcal{R}(t_i)} \exp(Z_l \beta)] \quad (3.5)$$

Os valores que maximizam a expressão 3.4 determinam-se pelo método de Newton-Raphson recorrendo à expressão 3.5 e às suas derivadas parciais. Para além da estimativa dos coeficientes de regressão pode-se também, a partir destes, estimar a função de risco base não paramétrica e a função de fiabilidade.

Nos programas informáticos (*softwares*) à semelhança do Statistica os coeficientes são estimados pela maximização da função de verosimilhança parcial L (*likelihood*). Esta é determinada encontrando-se o risco de avaria em cada ponto e fazendo depois o produto de todos esses riscos. O logaritmo de L é chamado de logaritmo de verosimilhança LL (*log likelihood*) e para testar se todos os β 's da população são iguais a zero comparam-se os valores de $-2LL$ do modelo de interesse com o modelo de base (*baseline*).

O valor de -2LL também pode ser utilizado como medida de ajuste do modelo. Nesse sentido, quanto mais baixo for o valor de -2LL mais ajustado será o modelo. No *software* SPSS entre outros aquele valor representa a diferença entre o modelo de base no qual os β 's assumem o valor zero o modelo com as variáveis explicativas incluídas. Neste caso o teste é chamado de razão de verossimilhança (RV) ou *likelihood-ratio* (LR). O *overall (score)* é outro teste utilizado para verificar se todos os coeficientes β no modelo são iguais a zero na população. Ele possui distribuição qui-quadrado e é uma aproximação do teste RV ou LR atrás referidos. Se uma variável apresentar um coeficiente β positivo e quanto maior for maior será o risco ou vice-versa.

Segundo Fonseca (1998), para a construção do teste das hipóteses da razão do estimador de máxima verossimilhança e a suposição do teorema de Wilks de que H_0 é verdadeiro em condições de regularidade da verossimilhança dos parâmetros a distribuição estatística -2LL tende assintoticamente para a distribuição de um qui-quadrado (χ^2) com r graus de liberdade. Também os *softwares* usam aquele valor para a comparação dos logaritmos dos valores obtidos para as covariáveis (*full-model* L_1) e o logaritmo de todas as covariáveis a tender para zero (*reduced-model* L_0) conforme se apresenta em na expressão 3.6.

$$\chi^2 = -2\log(L_0/L_1) = -2(L_0-L_1) \quad (3.6)$$

Para a análise dos resultados obtidos para a determinação do tempo de sobrevivência e, conseqüentemente, do risco de avaria o programa Statistica faz a estima os valores dos parâmetros de regressão β significativos e em caso afirmativo estes devem ser pelo menos duas vezes maiores que o valor calculado para o *standard error*. Deve ainda ser considerado que o nível de significância ou o chamado *p-value* deve tomar um valor menor que 0,05.

Rao (1973) refere que habitualmente quaisquer parâmetros estimados que sejam duas vezes maiores que o seu erro padrão ($\sigma > 2.0$) podem ser considerados estatisticamente significativos para $p < 0,05$. O autor atrás citado também refere que “*the spreadsheet also reports the Wald Statistic for each coefficient; this test is based upon the asymptotic normality of maximum likelihood estimates*”.

3.3 – O modelo das filas de espera sem memória. M/M/S – *Queuing model*

As filas de espera do tipo M/M/S (exponenciais) de acordo com a nomenclatura de Kendall pressupõem, conforme já abordado no subcapítulo 2.3.3, que os eventos por elas tratados com S servidores são independentes e identicamente distribuídos e fundamentam-se nos processos de vida e morte. Estes, por sua vez, segundo Costa (2002), são processos estocásticos sem memória suportados pela distribuição exponencial negativa que, aplicados às filas de espera, associam a vida a uma chegada e a morte à correspondente saída de um evento (cliente) depois de atendido.

Uma característica fundamental destes sistemas discretos é a presença da aleatoriedade como um atributo intrínseco ao processo e com as seguintes condições fundamentais do processo de vida e morte:

- 1.^a – No instante de tempo t o sistema encontra-se no estado n . A distribuição de probabilidade do intervalo de tempo que medeia entre o instante presente e a próxima chegada (nascimento) e o posterior serviço (morte) seguem uma distribuição exponencial negativa com os parâmetros λ_n ($n = 0, 1, 2, \dots$) e μ_n ($n = 0, 1, 2, \dots$);
- 2.^a – Nunca pode ocorrer em simultâneo mais do que um nascimento ou uma morte.

A modelação analítica destes processos de vida e morte caracterizam-se pelos estados estacionários ou de equilíbrio pois o sistema processa-se através da média dos eventos e, assim sendo, a estacionariedade existe se o número médio de entradas e saídas for igual por unidade de tempo em qualquer estado n .

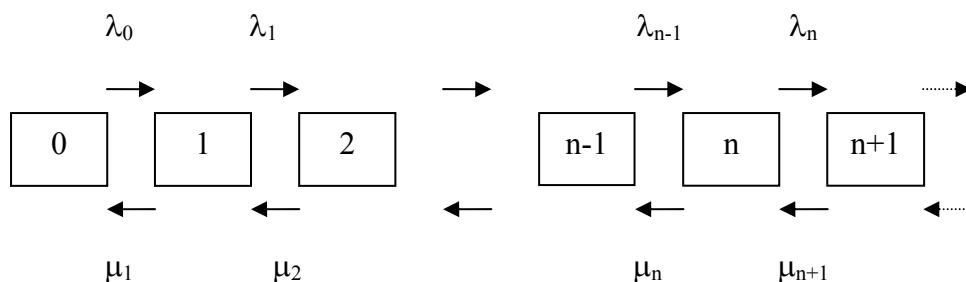


Fig. 3.1 – Processo de vida e morte

No caso de estudo apresentado no capítulo 5 usa-se o processo exponencial M/M/S por se tratar de um processo *flow shop* contínuo e em série. A taxa de chegadas (avarias) e a taxa dos serviços de atendimento dos pedidos de reparação do elevado número de equipamentos são, aproximadamente, constantes ao longo do tempo. O processo de chegadas verifica-se ser Poissoniano e, na prática, também o processo de atendimento dos pedidos de reparação não é afectado por qualquer limitação física. Assim, com base nesta verificação faz-se a determinação do número de servidores (equipas de executantes) necessários ao processo. Neste caso o modelo M/M/S corresponde ao caso mais geral de uma fila de espera única, baseada num processo de vida e morte em que existem S servidores em paralelo, correspondentes a cada uma das equipas executantes de cada uma das especialidades dos serviços de manutenção. A figura 3.2 esquematiza o sistema de uma fila de espera com vários servidores em paralelo.

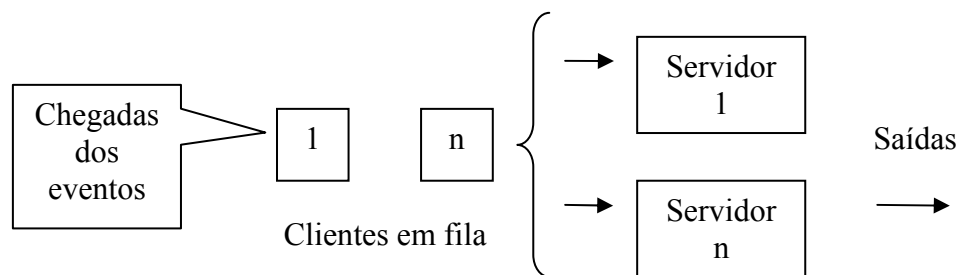


Fig. 3.2 – Sistema de fila de espera única (para cada serviço de manutenção)

O número de equipamentos potenciais a reparar é considerado infinito quando o seu número for muito elevado como se verifica na parte experimental deste trabalho e as chegadas dos pedidos de reparação a cada um dos serviços são únicas, com intervalos aleatórios e independente do estado do sistema. Assim, a taxa do serviço de atendimento é aproximadamente constante para todos os servidores (equipas de executantes) e a sua duração é também independente e aleatória devido à diversidade de operações e de equipamentos considerados neste trabalho. Mesmo existindo mais do que um servidor (S) verifica-se uma fila única, com comprimento infinito por não existirem limitações físicas, como é o caso. A disciplina da fila considerada neste trabalho é do tipo FIFO - *first in, first out* por se tratar de um sistema produtivo contínuo em série (*flow shop*) onde é sempre requerida uma elevada disponibilidade e segurança dos equipamentos e, ao mesmo tempo, uma elevada qualidade dos produtos produzidos.

A configuração do serviço traduz a forma como o atendimento é organizado e a taxa de serviço (μ) indica o número médio de “clientes” que podem ser atendidos por cada servidor por unidade de tempo. Também a taxa de serviço, tal como a taxa de chegadas (λ), quando não depende do número de elementos no sistema diz-se independente do seu estado.

O estudo dos tempos de serviço é uma técnica de medida do trabalho que permite registar os tempos e os factores de actividade para os elementos de uma dada tarefa executada em determinadas condições. A cronometragem pode ser utilizada na prática por duas formas principais:

- A cronometragem cumulativa;
- A cronometragem repetitiva ou com retorno a zero.

A cronometragem cumulativa é a usada neste trabalho através do sistema de registos (picagens) à obra do SAP/R3 (módulo PM) onde o cronómetro não pára durante toda a observação. Este método tem por fim assegurar o registo da totalidade dos tempos em que o trabalho é observado e os tempos das diversas operações que o constituem são obtidos por subtracções sucessivas. Por outro lado, na manutenção industrial o número de elementos que constituem cada servidor de cada uma das especialidades de manutenção para atender às diferentes famílias e tipos de equipamentos pode ser igual a um, a exemplo do atendimento das filas de espera em supermercados, bancos, portagens, etc, ou também superior a um elemento conforme se verifica no capítulo 5 deste trabalho.

As principais medidas de desempenho de uma fila de espera devem caracterizar o seu funcionamento quer do ponto de vista do “cliente” quer do ponto de vista do “serviço”. As medidas que interessam referir são o comprimento médio da fila (L_q), o número médio de equipamentos no sistema (L'), o tempo médio de espera na fila (W_q), o tempo médio de espera no sistema (W) e, finalmente, a taxa média de ocupação do serviço (ρ).

A tabela 3.1 apresenta as principais expressões de cálculo para a determinação das medidas de desempenho para as filas de espera do tipo M/M/S.

Tab. 3.1 – Expressões matemáticas para as medidas de desempenho

Parâmetro	Expressão de cálculo	Observações
Taxa de ocupação (ρ)	$\lambda / S\mu$	$\rho < 1$
Elementos na fila (L_q)	$P_0 (\lambda/\mu)^S \rho / S (1 - \rho)^2$	
Tempo na fila (W_q)	L_q / λ	
Probabilidade de desocupação dos S servidores (P_0)	$1 / [\sum_{n=0}^{s-1} (\lambda/\mu)^n / n! + (\lambda/\mu)^S / s! (1 - \lambda/s\mu)]$	Somatório de $n=0$ até $(s-1)$

O significado de cada um dos símbolos da tabela 3.1 já ficou atrás apresentado.

3.3.1 – A distribuição exponencial negativa e a distribuição de Poisson

A função de densidade de probabilidade da variável aleatória T com distribuição exponencial negativa é dada pela expressão apresentada em 3.7.

$$f(t) = 0 \text{ se } t < 0; \text{ ou } f(t) = \lambda \cdot e^{-\lambda t} \text{ se } t > 0 \text{ (ou igual a zero)} \quad (3.7)$$

Nas expressões atrás referidas λ representa o usual parâmetro da distribuição e t representa a comprimento do intervalo de tempo. A média e a variância são representadas, respectivamente, através das expressões 3.8 e 3.9.

$$E(T) = 1 / \lambda \quad (3.8); \text{ Var}(T) = 1 / \lambda^2 \quad (3.9)$$

A função de densidade de probabilidade da variável X com distribuição de Poisson é obtida através da expressão 3.10 a seguir apresentada.

$$f(x) = [(\lambda t)^x e^{-\lambda t}] / x! \quad (3.10)$$

Na expressão atrás apresentada λ representa o número médio de acontecimentos por unidade de tempo; t representa o comprimento do intervalo de tempo e x o número de acontecimentos que se observaram durante o intervalo de tempo t considerado.

A média e a variância da distribuição de Poisson são representadas, respectivamente, através das expressões 3.11 e 3.12.

$$E(X) = \lambda t \quad (3.11); \text{Var}(X) = \lambda t \quad (3.12)$$

3.3.2 – Propriedades da distribuição exponencial negativa

Na aplicação usada neste trabalho e de acordo com Hillier e Lieberman (1990) uma das mais interessantes características da distribuição exponencial negativa estabelece a relação entre essa distribuição e a distribuição de Poisson. Efectivamente é possível demonstrar que se o tempo entre dois acontecimentos consecutivos, como por exemplo as chegadas dos pedidos de reparação dos equipamentos, segue uma distribuição exponencial negativa com parâmetro λ então o número de acontecimentos por unidade de tempo t , ou seja o número de chegadas dos pedidos de reparação à fila, segue uma distribuição de Poisson com parâmetro λt .

A distribuição exponencial negativa, de acordo com os autores atrás citados, não tem memória e, por isso, é um processo Markoviano. O processo Markoviano é estocástico e segundo Tavares *et al* (1996) é definido por uma variável aleatória indexada X_t que representa o estado em que o sistema se encontra no instante t . Por outro lado num processo Markoviano a probabilidade de ocorrência de qualquer estado futuro é independente da sequência dos acontecimentos passados, dependendo apenas do estado em que o sistema se encontra no momento presente.

Relativamente ao atendimento das chegadas à fila de espera, segundo Tavares *et al* (1996) e também Costa (2002), só é lícito admitir que o tempo de serviço tem uma distribuição exponencial negativa quando o serviço diferir de cliente para cliente (como é o caso dos serviços de reparação de diferentes tipos ou famílias de equipamentos), situação em que um longo período de atendimento não significa que o serviço deve estar quase concluído mas, sim, que aquele caso requer um tempo de atendimento mais longo. Finalmente, também tem interesse para o presente trabalho referir as propriedades de agregação e de desagregação da distribuição exponencial negativa tanto para as chegadas como para os tempos de serviço.

3.4 – A optimização do dimensionamento dos recursos internos e externos

3.4.1 – O método de dimensionamento considerando as oportunidades de subcontratação

Definida e optimizada a dimensão do *insourcing* necessário para as equipas operacionais de manutenção relativamente a determinado contexto operacional ocorre, porém, a necessidade de recorrer a mais recursos em regime de *outsourcing* quando ocorrem paragens, programadas ou não, das áreas fabris e se pretende efectuar simultaneamente todos os trabalhos que aguardam paragem. Naqueles períodos de tempo há a oportunidade de se atender ao mesmo tempo aos vários equipamentos cuja condição de falha é conhecida pelos serviços de manutenção e por esse motivo aguardam paragem. Jardine (1979) propõe, relativamente às decisões organizacionais da função manutenção, a subcontratação de recursos como forma de minimizar os custos de manutenção por unidade de tempo. Através da expressão apresentada em 3.13 determina-se o número óptimo de executantes de manutenção correspondentes ao custo mínimo $C(n)$.

$$C(n) = nC_f + [nm \int_{nm}^{\infty} f(r)dr + \int_0^{nm} rf(r)]C_w + [\int_{nm}^{\infty} (r-nm)f(r)dr]C_s \quad (3.13)$$

Os trabalhos por unidade de tempo obedecem a uma função $f(r)$ de densidade probabilidade onde r representa o número de trabalhos, m é o número de trabalhos processados por unidade de tempo, n representa o número de equipas (servidores) ou técnicos executantes e C os custos. C_f representa os custos fixos por técnico e por unidade de tempo e C_w e C_s representam, respectivamente, os custos médios da mão de obra interna e externa para a execução de um trabalho.

3.4.2 – A distribuição estatística rectangular ou uniforme

Interessa fazer referência à distribuição de probabilidade rectangular ou uniforme pois esta irá ser utilizada no capítulo 5 como uma ferramenta do processo de melhoria. A razão pela qual ela se adequa ao tratamento dos trabalhos de manutenção que aguardam paragem dos equipamentos para a sua execução deve-se ao facto de se verificar que a quantidade de trabalhos naquelas circunstâncias variam entre um mínimo e um máximo

em função do tempo de funcionamento decorrido entre paragens consecutivas de duração fixa. Assim, a função de distribuição da estatística uniforme é a representada através da expressão 3.14 sendo caracterizada por uma probabilidade constante.

$$F(x) = (x-a)/(b-a) \text{ sendo } a < x < b \text{ (ou igual)} \quad (3.14)$$

Onde a e b representam os limites de um intervalo de tempo onde os valores das variáveis aleatórias podem ocorrer. A média e a variância desta distribuição são representadas, respectivamente, através das expressões 3.15 e 3.16.

$$E(X) = (a + b)/2 \quad (3.15); \text{ Var}(X) = (b-a)^2 / 12 \quad (3.16)$$

3.5 - Método de geração de números aleatórios para distribuições estatísticas

Os modelos de filas de espera em geral e o sem memória (M/M/S) em particular são resolvidos por via analítica recorrendo para isso às manipulações matemáticas atrás apresentadas que nos permitem calcular os seus parâmetros fundamentais. Quando estamos perante um problema concreto que viole fortemente as hipóteses que suportam os modelos analíticos disponíveis recorre-se à simulação para o resolver. Neste caso, um dos aspectos fundamentais dos métodos de simulação consiste na capacidade de geração de sequências de valores numéricos que reflectam as características estatísticas das variáveis exógenas.

Tavares *et al* (1996) entendem por processo de geração um conjunto de técnicas que permitem gerar sequências de números que apresentam determinadas propriedades estatísticas predefinidas. Faz-se aqui referência a estes processos porque são uma forma relativamente simples de usar para a verificação dos pressupostos do modelo adoptado. São requisitos básicos para os geradores de números aleatórios os que produzam sequências de valores com as seguintes propriedades:

- Tenham uma distribuição uniforme por convenção no intervalo [0,1];
- Sejam estatisticamente independentes.

Faz-se referência a Fishman (1978) e a Lewis e Orav (1989) no domínio da geração dos números aleatórios equiprováveis designados por Tavares *et al* (1996) pelos números pseudo-aleatórios. Aos números aleatórios uniformes no intervalo [0,1] são aplicadas transformações para se obterem valores com determinadas propriedades estatísticas usualmente representadas por distribuições de probabilidade que após recolha e tratamento estatístico dos dados modelam adequadamente o comportamento aleatório das variáveis exógenas.

O método mais simples de geração de valores para uma variável discreta X consiste em dividir o intervalo [0,1] em sub-intervalos de amplitude proporcional à massa de probabilidade $p(x)$ de cada valor possível de X . Gerando um número aleatório U_i identifica-se o sub-intervalo em que cabe e associa-se-lhe o valor X_i correspondente a esse intervalo.

O método de Poisson tira partido da relação entre as distribuições de Poisson e a exponencial. Se a variável de Poisson X mede o número de ocorrências de um dado fenómeno numa dada unidade de tempo, então o intervalo de tempo T entre ocorrências tem uma distribuição exponencial e vice-versa. Neste caso usa-se o método de inversão para a geração dos sucessivos valores para cada intervalo de tempo. Este método consiste em igualar a função cumulativa da distribuição $F(x)$ ao número aleatório uniforme gerado U no intervalo [0,1] e determina o correspondente valor da variável X por inversão da referida função cumulativa. No caso da distribuição exponencial cuja função é dada por $F(x) = 1 - e^{-\lambda x}$ a inversão desta função é dada por 3.17.

$$U = 1 - e^{-\lambda x}; \quad e^{-\lambda x} = 1 - U \quad (3.17)$$

Pela aplicação de logaritmos o valor de x é determinado através de 3.18.

$$x = \ln(1-U) / -\lambda \quad (3.18)$$

Os *softwares* de cálculo, como por exemplo o Microsoft Excel, incluem as funções para a geração de números aleatórios recorrendo neste caso ao gerador Rand. Ingolfsson e Grossman (2003) usam folhas de cálculo para a simulação de filas de espera.

3.6 – Considerações, justificações e comentários aos modelos apresentados

Neste subcapítulo fazem-se considerações acerca dos aspectos considerados inovadores do presente trabalho na área científica da gestão operacional onde se insere e comentam-se alguns dos aspectos que só por si justificam a utilização dos chamados modelos parciais nos processos inerentes à actividade da manutenção dos equipamentos industriais de laboração contínua. Refere-se, em primeiro lugar, a importância operacional da actividade da manutenção industrial. Em seguida tecem-se considerações acerca do modelo dos riscos proporcionais e o das filas de espera que se associam à fiabilidade e ao consequente dimensionamento e optimização dos meios da actividade da manutenção industrial. Finalmente, referem-se as principais vantagens e algumas das eventuais dificuldades da aplicabilidade prática do(s) modelo(s)

A manutenção industrial em particular nos processos do tipo *flow shop* de laboração contínua como é o caso da actividade da produção da pasta para papel, onde se fez a experimentação prática dos modelos parciais usados neste trabalho, pode assumir na indústria portuguesa um papel decisivo na eficiência do trabalho e na produtividade da organização. Assim, a função e os processos de manutenção e da operação (condução) ao tornarem-se mais eficazes e eficientes permitem que os produtos sejam mais competitivos nos mercados agora globais distinguindo-se pela sua qualidade e pela diferenciação da relação preço/qualidade.

A potencialidade do modelo dos riscos proporcionais e as suas vantagens continuam ainda desconhecidas junto dos engenheiros e dos técnicos de manutenção apesar das reconhecidas dificuldades operacionais para a determinação das mais adequadas periodicidades de inspecção e das acções de manutenção sobre os equipamentos. Também por isso continua-se a verificar que os planos de manutenção são elaborados com base nas instruções dos fabricantes não se atendendo muitas vezes por exemplo às particularidades do contexto operacional onde os equipamentos operam. O modelo dos riscos proporcionais proposto permite de uma forma relativamente rápida, ao contrário de outros modelos, a possibilidade da avaliação e a quantificação do “peso” de cada um dos factores independentes que mais influenciam os mecanismos de falha conducentes à avaria a que as diferentes famílias de equipamentos estão sujeitas.

Para além disso, segundo Bendell (1985) entre outros autores, o modelo pode tratar sistemas (equipamentos) considerados reparáveis e também não reparáveis permitindo de igual modo tratar dados censurados em conjunto com os não censurados. Também Pereira (1996) refere que o modelo dos riscos proporcionais no conjunto dos modelos de fiabilidade é um modelo estatístico não paramétrico ou semi-paramétrico que encara a ocorrência da avaria como um processo pontual e permite a aferição simultânea do efeito de vários factores na fiabilidade dos equipamentos. O autor atrás referido chama no entanto à atenção de que os modelos pontuais pressupõem a ocorrência de avarias perfeitamente definidas no tempo sendo esta uma das condições que o modelo exige. O modelo dos riscos proporcionais para além de servir como ferramenta para a previsão dos efeitos das falhas no funcionamento dos equipamentos, a remoção (erradicação) ou a adição de um certo factor de risco ou causa da avaria permite, também, a determinação do tempo e as condições a partir das quais a probabilidade do risco de avaria aumenta significativamente antes de se atingir o tempo médio entre avarias (MTBF) ou até à avaria (MTTF) entretanto esperadas. Kalbfleish e Prentice (1980) referem a possibilidade de se usar covariáveis variáveis no tempo para a contabilização de diferentes factores de risco. Os indicadores de risco seriam regularmente medidos ao longo do tempo de duração do estudo e, por regressão, definiriam essas covariáveis. Haveria, no entanto, que testar a independência entre os diferentes modos de avaria.

Finalmente há ainda autores que admitem a inclusão dos modos de avaria como covariáveis (factores) no modelo. No entanto nos sistemas industriais o problema que se coloca é o de considerar se é ou não legítimo admitir que a ocorrência de um dado modo de avaria pode aumentar ou diminuir a possibilidade de ocorrência de uma outra avaria posterior. Nestas condições Pereira (1996) considera que o modo de avaria considerado como covariável deve ser cuidadosamente analisado.

Quanto ao modelo das filas de espera apesar de remontarem ao tempo do estudo das chamadas telefónicas que aguardavam linha para serem encaminhadas hoje, à semelhança daquelas, mesmo com o desenvolvimento tecnológico verificado ao longo do tempo outras filas de espera continuam a ocorrer e portanto a justificar a necessidade de serem estudadas. Assim, neste trabalho as filas de espera que interessam estudar e analisar dizem respeito às notificações por avaria ou por mau funcionamento e às consequentes reparações e inspecções a esses equipamentos industriais.

Os pedidos de reparação são efectuados neste caso através de um sistema de gestão da manutenção o SAP/R3 e dirigidos a cada um dos principais serviços (especialidades) de manutenção: o serviço mecânico, eléctrico e o de instrumentação e controlo. O modelo M/M/S sem memória usado corresponde às filas únicas (para cada um dos serviços) com chegadas e serviço de atendimento que se verificaram ser exponenciais com “s” servidores validado através de testes do qui-quadrado (χ^2). Assim, a aplicação da teoria subjacente ao modelo dá resposta às seguintes questões que sempre se colocam à gestão de topo e aos gestores da manutenção em particular:

- Qual o tempo médio de espera de um pedido de reparação?
- Qual o número médio de reparações no sistema de obras?
- Qual o número de executantes necessários nos diferentes serviços?
- Qual o nível (tempo e custo) de manutenção mais adequado?
- Qual a previsão do nível do *backlog* de cada um dos serviços de manutenção?
- Qual a dimensão adequada da(s) equipa(s) de manutenção?

Segundo Xie *et al* (2000) é aceitável a aplicação do modelo exponencial normalmente utilizado nos estudos de fiabilidade e manutenibilidade de equipamentos complexos quando estes estão sujeitos a acções de manutenção (inspecção, reparação e substituição) regulares como é o caso em estudo. Os autores atrás citados referem que neste caso os componentes e equipamentos são mantidos ou substituídos por outros com a condição “*good as new*” correspondente a reparações perfeitas. O modelo, baseado no processo de “vida” e “morte”, permite estudar duas situações distintas. A primeira diz respeito aos pedidos de reparação não planeada referidos no subcapítulo 1.4.1 que são atendidos de imediato através das acções de reparação perfeitas ou por reparações mínimas. A segunda situação corresponde aos pedidos de reparação já atendidos pela situação anterior através de acções correspondentes às reparações mínimas mas que carecem, ainda, de uma paragem para que sejam efectuadas em simultâneo as requeridas reparações perfeitas aos equipamentos naquelas circunstâncias. Considerando o atendimento das ordens de trabalho correspondentes às acções de manutenção planeada, referidas no subcapítulo 1.4.1, estas não são aqui consideradas no modelo das filas de espera porque as periodicidades para a sua execução podem ser optimizadas tendo em consideração não só os bancos de dados já existentes como também recorrendo ao modelo dos riscos proporcionais apresentado.

Chama-se à atenção das acções planeadas não corresponderem aos casos do atendimento das avarias mas sim às tentativas de diagnóstico de um determinado estado ou à avaliação da condição dos equipamentos. Estas acções correspondem ao 3.º nível de manutenção ou eventualmente ao 2.º nível referidos no subcapítulo 2.6.1.

A aplicabilidade do modelo das filas de espera no domínio da manutenção tem sido referido na literatura por vários autores mas, na realidade operacional, a sua utilização prática não foi verificada pelos vários contactos nacionais e internacionais efectuados. Este facto pode ser devido, pensa-se, não pela dificuldade da caracterização das chegadas dos pedidos de reparação mas sim na caracterização do serviço de atendimento. Refere-se a este respeito o “*repair man model*” apresentado neste domínio mas limitado a apenas um executante. Nos modelos de filas de espera usados para os supermercados, bancos, portagens, serviços públicos e linhas de montagem, o atendimento é efectuado por um ou mais servidores com a dimensão de apenas um executante. Ora na actividade da manutenção industrial para além desta situação de atendimento (reparação) ocorrem outras em que a dimensão do servidor é muitas vezes superior a um executante para que a reparação seja efectuada. Esta situação ocorre devido às características do local ou do equipamento e ao tipo de reparação necessária efectuar como acontece, por exemplo, nos equipamentos em estudo tais como os motores eléctricos, as bombas hidráulicas, as válvulas ou, ainda, os cilindros óleo-hidráulicos. Atendendo a este facto é necessário caracterizar as diferentes famílias de equipamentos e, para cada uma delas, quantificar a dimensão necessária para o servidor (equipa de executantes). Quanto aos intervalos de tempo entre as chegadas dos pedidos de reparação o problema é mais simples pois estes podem ser medidos ou então recorre-se, como foi o caso da aplicação neste trabalho, ao registo das datas e das horas registadas (gravadas) no CMMS (SAP/R3) da manutenção. No caso do atendimento dos trabalhos que aguardam paragem estes são tanto mais numerosos quanto maior for o intervalo de tempo decorrido entre paragens programadas (ou não) sendo que neste caso o atendimento pode ser representado através de uma distribuição estatística rectangular ou uniforme para um conjunto mínimo e máximo de trabalhos. Nas paragens das instalações atrás referidas e atendendo às oportunidades de subcontratação propostas por Jardine (1979) determina-se o número de equipas em regime de *outsourcing* de forma a minimizar os custos de manutenção por unidade de tempo.

Também no modelo de filas de espera apresentado considera-se razoável admitir que a disciplina da fila é do tipo FIFO por se estar a tratar neste trabalho de um contexto operacional contínuo que exige elevada disponibilidade e segurança dos equipamentos e por se verificar também que não existem desistências (saídas da fila de espera) por parte de quem solicita o(s) pedido(s) de reparação. Esta situação é também razoável de admitir sabendo-se à partida que não existem outras alternativas viáveis para os pedidos de reparação a não ser os serviços dedicados para o efeito na unidade fabril.

Assim, referem-se os aspectos fundamentais a verificar para colher vantagens dos modelos parciais usados assim como eventuais dificuldades da sua aplicação.

Para a aplicação do modelo dos riscos proporcionais (PHM) é necessário um conjunto de dados obtidos directa ou indirectamente nos equipamentos e que pelo menos representem entre seis a dez casos concretos mesmo havendo algumas censuras. Estes dados são por vezes de difícil obtenção e quando não existem pode-se tornar num processo demorado para a sua obtenção pois eles devem corresponder a situações de falhas verificadas ao longo do tempo. A selecção das covariáveis é também um aspecto a tomar em linha de conta que apesar de não se traduzir em desvantagem para o modelo devem ser devidamente tratadas. Finalmente, e ao contrário do que à alguns anos se referiu, hoje o custo da aquisição de alguns dos *softwares* usados na análise de sobrevivência como por exemplo o Statistica deixou de ser uma limitação para o utilizador e o mesmo acontecendo relativamente à sua utilização pois já não são necessários, como antes, conhecimentos específicos tão aprofundados. Para a aplicação do modelo das filas de espera do tipo M/M/(s) é necessário verificar no caso concreto se, de facto, os tempos entre as chegadas e do serviço obedecem a uma distribuição exponencial. Neste trabalho verificou-se que as chegadas e os serviços seguem uma distribuição de Poisson. Caso contrário haveria que procurar o ajustamento dos dados a outra distribuição estatística. Também para a aplicação do modelo proposto no domínio da manutenção industrial é necessário caracterizar a forma de organização e o modo de funcionamento dos serviços operacionais e caracterizar se a população em estudo é finita ou se pode ser considerada como infinita. No presente trabalho atendendo à quantidade dos equipamentos em operação da ordem das muitas centenas estes foram considerados infinitos em relação à capacidade dos serviços de atendimento diário dedicado.

É também necessário verificar se existe, ou não, uma grande variedade de equipamentos, uma grande dispersão dos tempos de reparação e uma variação do número de elementos das equipas de reparação tornando-se necessário quantificar esses dados de uma forma representativa. Assim, alguns dos aspectos dos modelos parciais usados no presente trabalho esperados inovadores são os que a seguir se indicam:

- A utilização conjunta do modelo semi-paramétrico (exponencial) e paramétrico (exponencial e uniforme) permitiu caracterizar e prever a fiabilidade operacional;
- O uso de modelos quantitativos pouco difundidos que acrescentam valor significativo no domínio da actividade operacional em comparação com os modelos puramente estatísticos por tratarem de forma dinâmica dados determinísticos e estocásticos.
- A possibilidade do uso de *softwares* sem custo disponíveis na “Internet” que permitem fácil e rapidamente a introdução dos dados e a obtenção dos resultados;
- A determinação da influência de factores intrínsecos (materiais) e extrínsecos (contexto operacional) na ocorrência de avarias de diferentes famílias de equipamentos;
- O dimensionamento conjunto das equipas *insourcing* necessárias ao processo diário de manutenção e das equipas *outsourcing* pontuais (oportunidades de subcontratação);
- A possibilidade de definir e melhorar conjuntamente as acções sobre os equipamentos à responsabilidade da manutenção e as acções do domínio da operação (condução);
- A possibilidade de prever os custos operacionais e por consequência o *budget* para cada serviço de atendimento;
- A previsão do aprovisionamento das peças necessárias para cada uma das famílias de equipamentos face à fiabilidade obtida e ao risco das avarias;
- A possibilidade da redução conjunta dos custos de manutenção e os operacionais;
- Uma metodologia com aplicabilidade prática na melhoria da fiabilidade operacional.

Finalmente refere-se que o actual “estado da arte” em Portugal na indústria da pasta e do papel tem optado por algumas das práticas referidas nos subcapítulos 1.4 e 1.5 mas não as tem sustentado por dificuldades organizacionais, devido ao tempo necessário à sua implementação generalizada, ou devido aos custos. Estas dificuldades podem ser supridas em grande parte com a abordagem diferenciada e inovadora como a experimentada neste trabalho, pois ela identifica e caracteriza com rapidez o conjunto das principais causas raiz que afectam significativamente a fiabilidade operacional das famílias de equipamentos, e ao mesmo tempo dimensiona os serviços de manutenção.

4 – Apresentação do caso de estudo

4.1 – O contexto operacional e dos dados iniciais

Neste capítulo faz-se a apresentação da área fabril, das avarias dos seus equipamentos, dos pedidos de reparação e do(s) serviço(s) de atendimento a estudar através da aplicação dos modelos parciais. A área fabril e em particular os seus equipamentos inserem-se num processo industrial contínuo (*flow shop*) em série cuja função principal é deslinhificar (remover a lenhina) e lavar a pasta a branquear através do processo químico recorrendo ao dióxido de cloro para tratar mais de quinhentas mil toneladas (TAD) de pasta ECF por ano. O sistema é assim basicamente constituído pelos circuitos da pasta e dos reagentes que exigem condições químicas bastante severas e a cargas consideráveis. Por isso, muitos dos equipamentos usados são constituídos por materiais com a resistência química adequada tais como o titânio; o aço inoxidável austenítico; o polyester reforçado e materiais cerâmicos anti-ácidos, entre outros, cujos custos são bastante mais elevados em comparação com os materiais de uso mais corrente. A área fabril do branqueamento e a lavagem de pasta, assinalada por “A” na figura 4.1, insere-se na fábrica de produção de pasta para papel do complexo industrial do grupo Portucel Soporcel em Setúbal e localiza-se junto à margem norte do estuário do rio Sado.

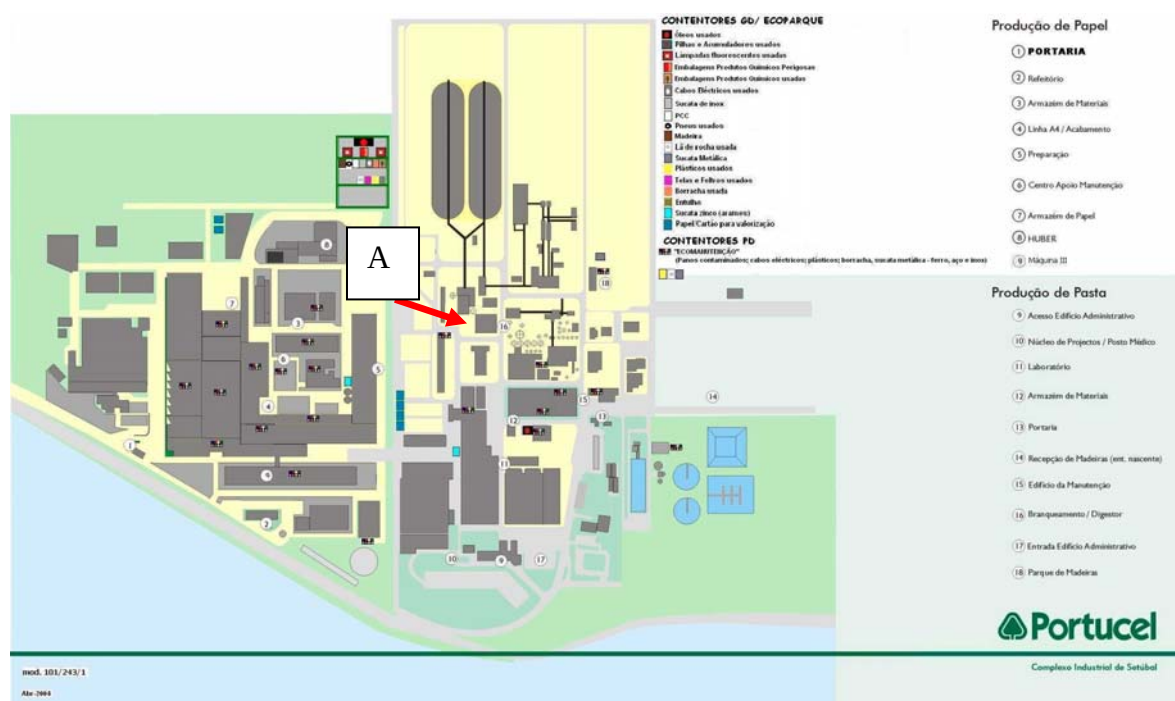


Fig. 4.1 – Planta geral de 2007 do complexo industrial da Portucel em Setúbal

O diagrama do processo de produção da linha de pasta é, de acordo com a figura 4.2, composto pelo circuito de aparas; dois digestores contínuos, um de capacidade superior a 600 ton/dia e outro com mais de 900 ton/dia; a crivagem da pasta que integra uma prensa de deslinhificação constituindo o sistema de produção de pasta crua. Segue-se o branqueamento assinalado na figura 4.2 por “B” com uma capacidade de 1600 ton/dia e onde existe também outra prensa de deslinhificação. Finalmente, a bombagem da pasta para a produção de papel e a tiragem de pasta seca com uma a capacidade nominal de 900 ton/dia que tem vindo a ser melhorada para atingir a produção de 1000 ton/dia.

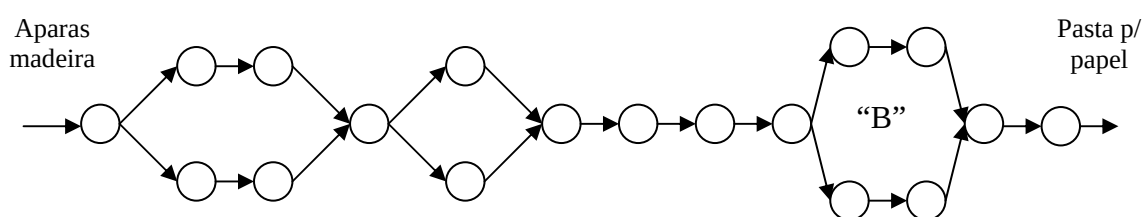


Fig. 4.2 – Diagrama simplificado da linha de produção de pasta

A área fabril correspondente ao branqueamento da pasta (“B”) é composta por um conjunto de torres em série e paralelo que se representam na figura 4.3 com a função de fazer permanecer o fluxo contínuo da pasta em cada uma delas durante certo intervalo de tempo para, assim, permitir a reacção dos reagentes químicos adicionados à pasta.

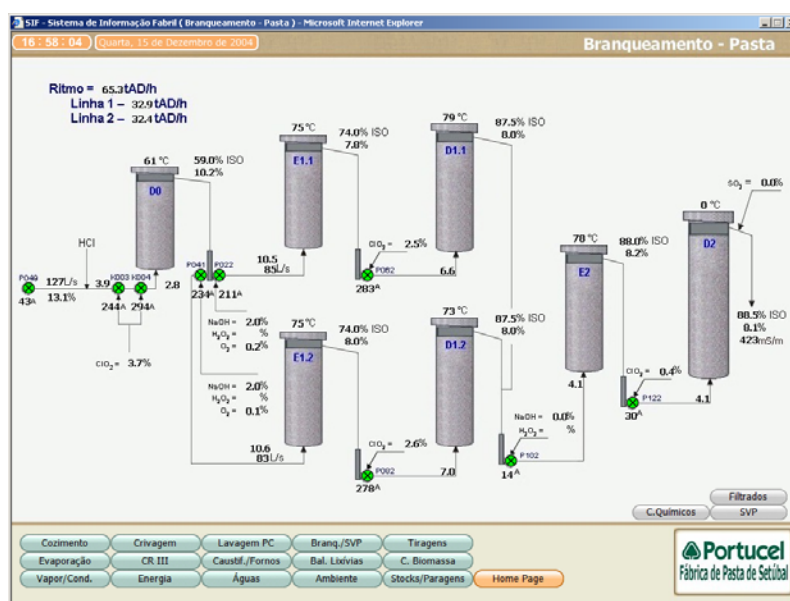


Fig. 4.3 – Sequência do processo do branqueamento da pasta para papel

A figura 4.4 representa os limites do sistema através de um diagrama de blocos.

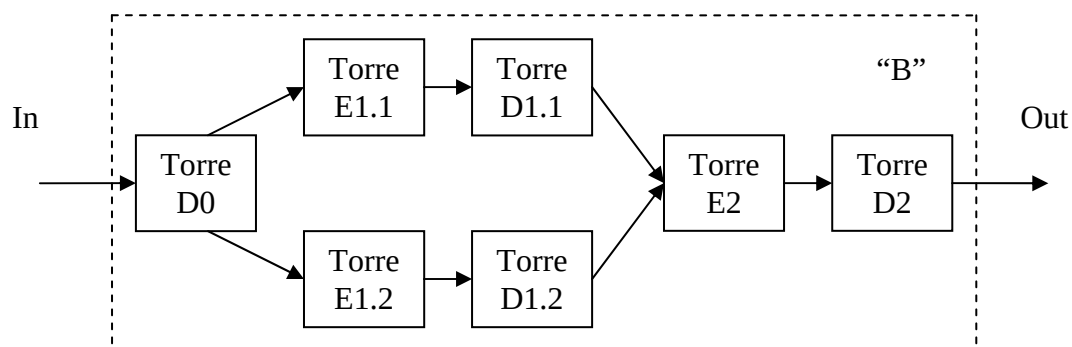


Fig. 4.4 – Limites do sistema “B” do branqueio da pasta

A vista parcial da fábrica de pasta e da fábrica de papel é apresentada na figura 4.5 onde se assina-la a amarelo a área da deslinhificação e a vermelho as diferentes torres branqueamento que em média atingem cerca de 35 metros de altura.



Fig. 4.5 – Vista da área fabril do branqueamento da pasta

A produção para o máximo ritmo médio de funcionamento do branqueamento situa-se entre as 65 e as 66 toneladas de pasta por hora e o valor de mercado em Março de 2005 era cerca de 425 euros por tonelada de pasta seca (TAD).

Tratando-se de uma instalação fabril que foi remodelada à aproximadamente 16 anos e com uma evolução crescente relativamente à quantidade de pasta processada, esta tem sido alcançada através de investimentos específicos efectuados na eliminação de alguns estrangulamentos do processo e através da maior eficiência do ritmo de produção. Assim, interessa agora otimizar a fiabilidade dos equipamentos e os custos respeitantes aos materiais e às das equipas (serviços) de manutenção.

Na área fabril em estudo ocorrem falhas dos equipamentos que podem ser devidas a processos de degradação lenta e progressiva e, também, falhas classificadas como súbitas e, em alguns casos, catastróficas. As falhas por degradação resultam da variação progressiva dos limites máximos de resistência de uma ou mais características dos materiais que embora possam ocorrer aleatoriamente elas podem ser previstas e, portanto, podem ser prevenidas. As falhas catastróficas resultam de uma variação súbita que afecta um ou mais componentes podendo originar a sua inutilização ou irrecoverabilidade. No caso em estudo, na fábrica de pasta da Portucel em Setúbal, foi seleccionada a área fabril do branqueamento da pasta para papel devida à sua importância no processo produtivo e ao elevado número de avarias observadas adiante referidas. Esta área fabril é constituída por equipamentos com diferentes funções mas ao mesmo tempo com funções semelhantes por funcionarem em sistemas idênticos. Na família dos equipamentos estáticos são estudadas as tubagens, as celas de alimentação eléctrica (arranadores) e os sensores (instrumentos) em linha. Quanto à família dos equipamentos rotativos são estudados os motores eléctricos, as bombas hidráulicas do tipo centrífugo, um transportador e, finalmente, na família dos equipamentos de movimento linear e(ou) circular, os cilindros óleo-hidráulicos e as válvulas automáticas. A tabela 4.1 apresenta as famílias e a quantidade de equipamentos semelhantes considerados.

Tab. 4.1 – As famílias e número de equipamentos em estudo

Equipamentos					
Estáticos		Rotativos		Lineares	
Tubagens	14	Bombas	6	Válvulas	25
Celas*	6	Motores	6	Cilindros	42
Sensores	14	Transportador	1	-	-

* Arranadores eléctricos

Para cada uma das famílias de equipamentos foi considerado o estudo em conjunto para os que desempenham funções semelhantes no sistema em série paralelo da área fabril considerada e, portanto, com condições de funcionamento também semelhantes. Apresenta-se na tabela 4.2 a proporção aproximada entre a totalidade dos equipamentos da linha de produção de pasta e os afectos à área do branqueamento.

Tab. 4.2 – Quantidade de equipamentos da linha de pasta e do branqueamento

Equipamentos	Linha de pasta	Branqueamento	Proporção
Válvulas automáticas	630	109	17%
Instrumentos em linha	667	127	19%
Motores eléctricos	566	65	11%
Bombas	336	53	16%
Cilindros hidráulicos	82	42	51%
Transportadores	12	1	8%

Os circuitos onde os equipamentos em estudo estão instalados são identificados numericamente e representados esquematicamente na figura 4.6.

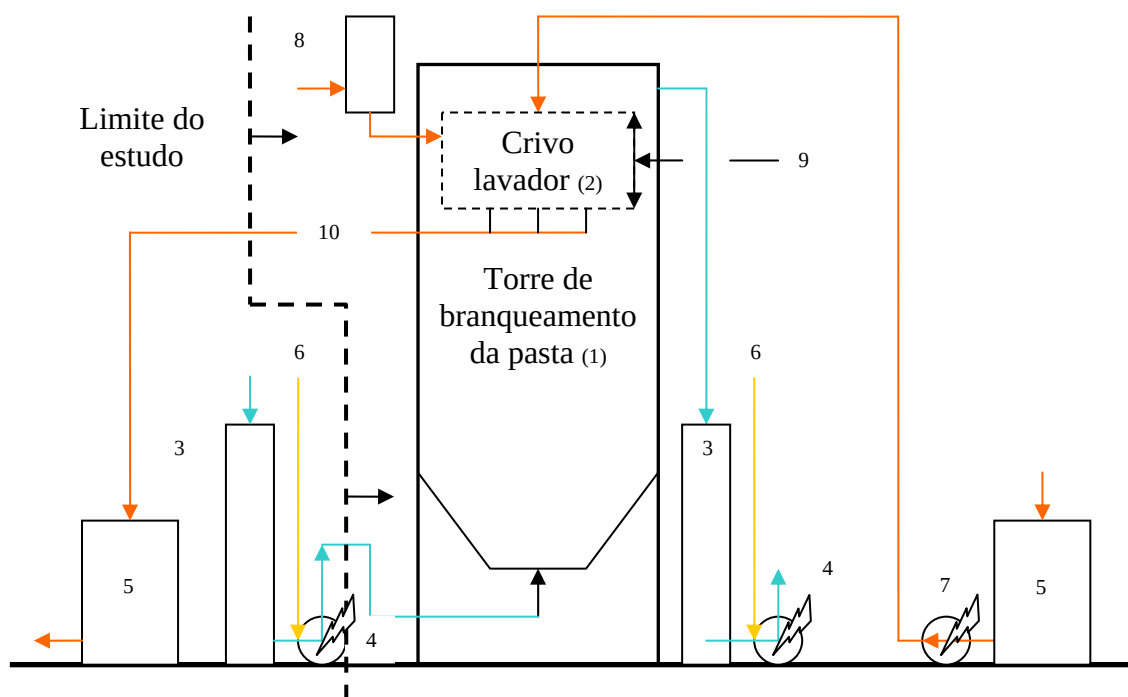


Fig. 4.6 – Circuitos de pasta, filtrado e de reagentes químicos

Para cada uma das sete torres da área do branqueamento o significado da numeração atrás referida e atribuída na figura 4.6 é de igual modo válida, sendo o que se segue:

- 1 – Torre de branqueamento da pasta para papel;
- 2 – Crivo lavador da pasta por difusão;
- 3 – Stand – pipe de queda da pasta da torre de branqueamento;
- 4 – Bombagem de pasta para a torre seguinte;
- 5 – Tanque (caixa) de filtrado;
- 6 – Entrada de reagente químicos;
- 7 – Bombagem de filtrado para lavagem da pasta;
- 8 – Tanque de contra-lavagem da pasta;
- 9 – Sistema hidráulico de elevação e descida do crivo de lavagem;
- 10 – Circuito de extracção do filtrado da lavagem;
-  - Energia eléctrica fornecida dos quadros eléctricos (força e comando)

4.1.1 – Caracterização das falhas funcionais da linha de produção de pasta

Tradicionalmente a classificação das falhas dos equipamentos é caracterizada através da especialidade de manutenção responsável pelo equipamento e, por isso, muitas vezes são identificadas por falhas mecânicas, eléctricas e de instrumentação e controlo. Neste trabalho as falhas funcionais são classificadas de acordo com o seguinte critério:

- Falhas devidas a deficiente vedação e condução de fluidos (VC). As que são provocadas pela falta de vedação de empanques, retentores, juntas das uniões flangeadas, em uniões roscadas, em tubagens, etc;
- Falhas de alimentação, comando e de protecção (ACP). São as relativas ao fornecimento de energia eléctrica a motores e conversores, deficiências nos interruptores de segurança, interrupções de energia de comando em quadros eléctricos, problemas de aquecimento de contactos em arrancadores ou barramentos eléctricos, etc;
- Falhas de indicação e de controlo do processo (IC). São as que dizem respeito aos sensores de indicação das variáveis do processo, bem como aos transmissores e controladores automáticos, etc;

- Falhas devidas aos accionamentos e transmissões (AT) que incluem as falhas devidas aos motores eléctricos, redutores e(ou) multiplicadores de velocidade e a elementos de transmissão tais como acoplamentos, correias, correntes e unidades hidráulicas, etc;
- Falhas de regulação e actuação (RA) que comportam as válvulas automáticas e manuais, os actuadores, os posicionadores, os cilindros de deslocamento linear pneumáticos ou hidráulicos, etc;
- Falhas nos sistemas e nos equipamentos accionados (SA) que dizem respeito a todos os equipamentos produtivos como sejam os alimentadores de aparas, as bombas hidráulicas centrífugas, os agitadores, os crivos, os transportadores, etc;
- A deficiente filtragem de óleos dos equipamentos (F) e a colmatção (C) de equipamentos ou itens associados ao processo produtivo, tais como permutadores, linhas de transferências de produtos químicos, etc.

De acordo com a classificação usada na fábrica da Portucel em Setúbal apresenta-se na figura 4.7 uma quantificação das falhas funcionais verificadas no ano de 2001 nas áreas fabris identificadas por sxxx da linha de produção de pasta com a organização da manutenção em regime de *insourcing*.

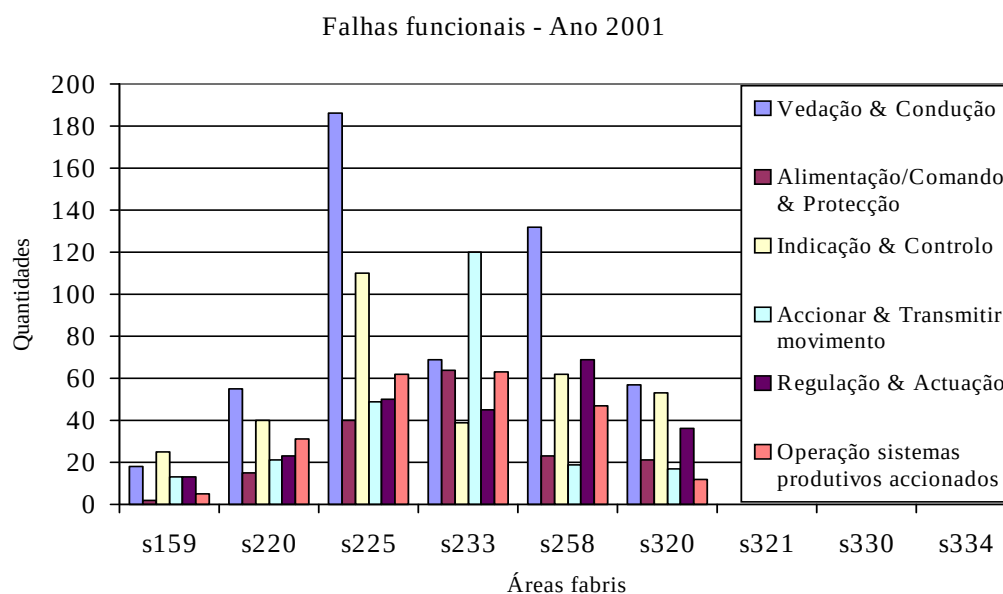


Fig. 4.7 – Quantidade de falhas funcionais anteriores ao *outsourcing*

As falhas funcionais verificadas em maior número são as que correspondentes à “vedação & condução” de fluidos nas áreas do branqueamento (s225) e produtos químicos (s258); a “indicação & controlo” no branqueamento e as falhas associadas a “accionar & transmitir” na área da tiragem de pasta (s233). As figuras 4.8 e 4.9 apresentam, respectivamente, as falhas funcionais dos primeiros semestres de 2003 e de 2004 por cada uma das áreas fabris da linha de pasta quando a manutenção já se encontrava em regime de *outsourcing* através de um acordo complementar de empresas (ACE) entre a Andritz, a Siemens, a ATM e a própria Portucel.

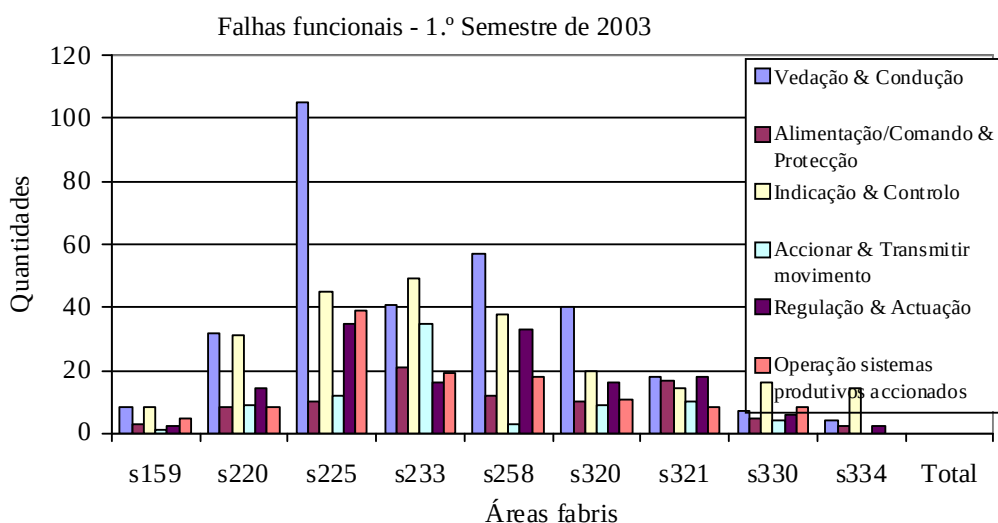


Fig. 4.8 – Falhas funcionais no 1.º semestre de 2003

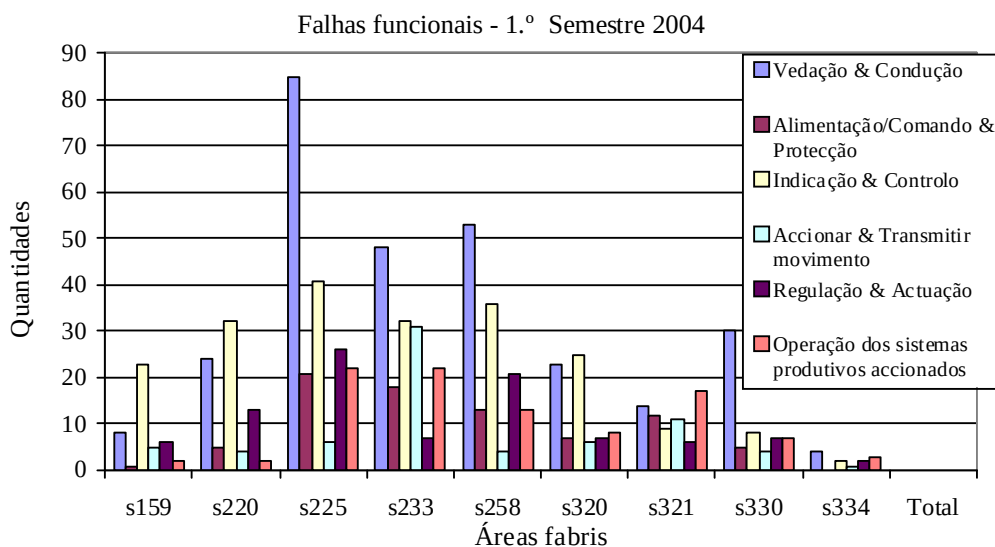


Fig. 4.9 – Falhas funcionais no 1.º semestre de 2004

Pela análise dos dados atrás apresentados verifica-se que o maior número de falhas funcionais e por consequência o maior número de avarias correspondem à falta de vedação e condução (VC) de fluidos na área fabril do branqueamento. A esta função associam-se os componentes tais como as juntas das uniões flangeadas, os retentores de óleo e as ligações por soldadura entre outros da responsabilidade das especialidades mecânica e instrumentação. De referir que a detecção, a avaliação e controlo da condição dos equipamentos sujeitos a este tipo de falha funcional, como por exemplo nas tubagens, são normalmente efectuadas através de rotinas de manutenção que usam, essencialmente, os sentidos humanos. Por outro lado, também se verifica que independentemente da função manutenção estar ou não integrada no regime de *outsourcing* as falhas funcionais de vedação e condução de fluídos sempre são as de maior número o que parece não ser tolerável quando, cada vez mais, se dá relevância à segurança e à protecção ambiental.

4.1.2 – Caracterização dos planos de manutenção da linha de pasta

Os planos de manutenção existem para proporcionar respostas preventivas concretas ao estado dos equipamentos para, assim, se evitarem as falhas funcionais e, consequentemente, as avarias que provocam a indisponibilidade do(s) equipamento(s), do sistema ou da área da produtiva. Os planos de manutenção devem contemplar em especial nos equipamentos ou sistemas críticos, bem como os considerados como importantes, tanto sob o ponto de vista operacional (produção) como na perspectiva da segurança e da protecção ambiental dos activos (pessoas e equipamento). Os planos atrás referidos são executados através de rotinas sensoriais ou acções sem ou com a paragem dos equipamentos de acordo com determinadas frequências temporais.

No caso da linha de pasta da fábrica da Portucel em Setúbal os planos de manutenção apresentados na tabela 4.3 correspondem à execução interna ou externa de tarefas e acções sensoriais genéricas (ASG) e acções de manutenção sistemática (AMS) efectuadas pelos principais intervenientes e responsáveis pelo processo produtivo, ou seja a produção e a manutenção. Existem também acções específicas de manutenção e calibração dos equipamentos (dispositivos) de inspeção, medição e ensaio (EIMEs) que medem e controlam a qualidade da pasta e a qualidade ambiental legalmente exigida.

Para além das rotinas e acções atrás referidas existe, também, um plano de revisões gerais aos equipamentos que é executado em média com uma periodicidade anual durante as chamadas paragens gerais que são levadas a efeito com recurso a pessoal contratado (serviço) a preço fixo.

Tab. 4.3 – Planos de Manutenção (rotinas) existentes – Linha da Pasta

	Produção	Manutenção			
		Realização	Lubrificação	Inspecção	Outros
ASG	X	X	X	X	X
AMS		X	X	X	X
EIMes		X	-	-	-
Revisão*		X	-	-	-
Outras	X	X	-	-	X

* Efectuadas com as periodicidades das paragens gerais anuais

A título de exemplo apresenta-se na tabela 4.4 uma amostra das horas totais trabalhadas pelo pessoal dos serviços de manutenção entre Janeiro e Agosto de 2004, tanto na linha de produção de pasta como na recuperação e energia, onde são referidas as respectivas horas programadas (preventivas) e as não programadas (reactivas). As horas programadas correspondem às tarefas ou acções previstas pelas ASG's e AMS's, referidas na tabela 4.3 acrescidas de “Outras” tarefas consideradas executar pontualmente pelos responsáveis operacionais da Manutenção.

Tab. 4.4 – Horas de Manutenção – Pasta & E. R. (fonte absconsultoria)

	Jan.	Fev.	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto
Prog	3613	4092	5564	7505	7698	10211	8001	8126
N. prog	3170	4826	6123	6280	3620	3682	2783	2371
Total	6783	8918	11687	13785	11318	13893	10784	10497

Apresenta-se na figura 4.10 uma amostra da relação entre o número total de horas trabalhadas na linha de produção de pasta pelos serviços de manutenção entre Janeiro e Setembro de 2004 (horas programadas e não programadas) por cada uma das especialidades e o número de alguns dos tipos de falhas funcionais atrás referidas.

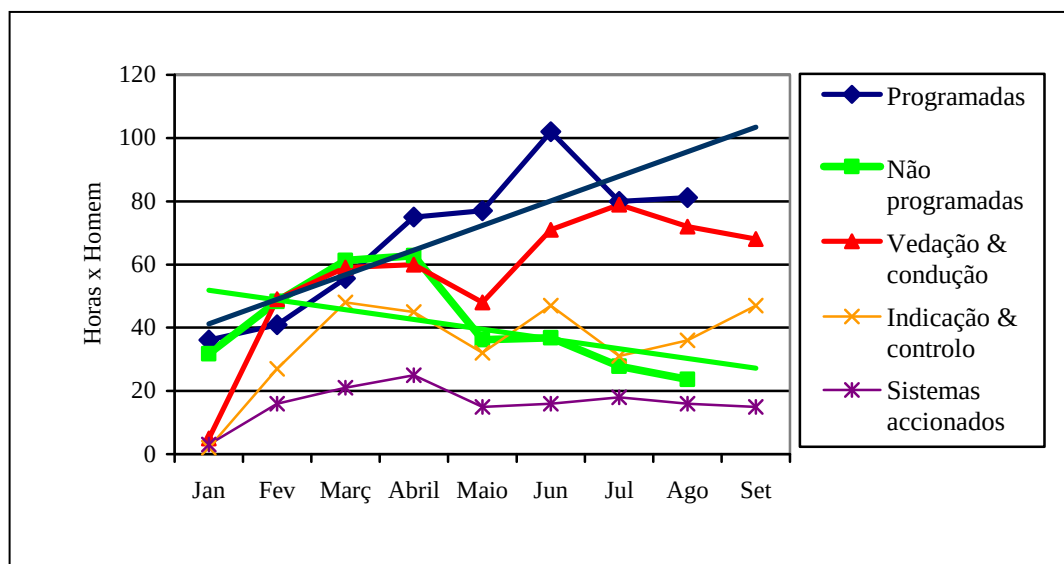


Fig. 4.10 – N.º de horas de manutenção vs n.º de falhas funcionais (valores relativos)

Pela observação e a análise dos dados apresentados na figura 4.10 verifica-se que existe certa proporcionalidade inversa entre o número de horas programadas de manutenção e as não programadas. No entanto, enquanto que nos “sistemas accionados” e de “indicação e controlo” se verifica uma estabilização do número de falhas funcionais (avarias) ao longo do tempo, o mesmo não acontece com a função “vedação e condução” onde, neste caso, se verifica um aumento das falhas funcionais e avarias.

4.1.3 – Justificação do estudo do branqueamento e a caracterização das avarias verificadas

A principal justificação do estudo das avarias da área do branqueamento prende-se com o facto dos sistemas (equipamentos) que funcionam nesta área fabril estarem mais sujeitos a modos de falha associados a processos de degradação combinados tais como a corrosão, o desgaste e a fadiga do que noutras áreas fabris. Estes processos de degradação são originados, em grande parte, pela presença dos produtos químicos necessários ao processo do branqueamento da pasta pelo que é necessário também ter em consideração a requerida fiabilidade como garante da segurança das pessoas que operam e mantêm esses sistemas. Assim, de entre as várias funções dos equipamentos cujas falhas foram atrás quantificadas verifica-se que a função de “vedar & conduzir” (VC) fluidos no branqueamento é a que atinge maior expressão relativamente à quantidade de notificações para reparação por parte dos serviços de manutenção.

Foi também identificado na área do branqueamento da pasta um elevado número de notificações (pedidos de reparação) feitas aos serviços de manutenção para as funções de “regulação & actuação” (RA) e de “indicação & controlo” (IC).

A quantificação e a localização dos equipamentos e das principais falhas funcionais atrás identificadas na área do branqueamento foram recolhidas através do histórico das notificações efectuadas através do CMMS da manutenção o SAP/R3 (módulo PM) e são quantificadas através figuras que se seguem.

Assim, inicia-se a apresentação pela figura 4.11 correspondente às falhas (avarias) da função “vedar & conduzir (fluidos)” nos cilindros óleo-hidráulicos. Estes equipamentos lineares accionam os crivos da lavagem da pasta de cada uma das torres do processo do branqueio da pasta. Esta falhas (avarias) da “vedação” originaram fugas de fluidos e para além de poderem provocar a ocorrência de impactos no ambiente provocam também a diminuição da eficiência da brancura da pasta devido à paragem dos crivos da lavagem da pasta e(ou), então, ao aumento do custo de produção devido ao necessário acréscimo de reagentes químicos no processo. Não menos relevante é o facto de estas fugas poderem ser uma consequência do incorrecto funcionamento do conjunto dos seis cilindros hidráulicos e ao efeito do mau funcionamento dos crivos.

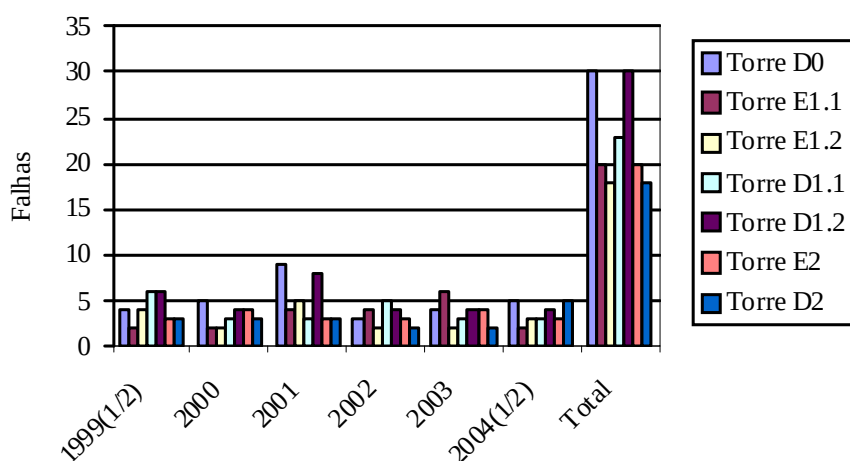


Fig. 4.11 – Número de falhas de vedação (VC) nos cilindros hidráulicos

A figura 4.12 apresenta as falhas (avarias) de “vedação & condução” no sistema de armazenagem e distribuição de dióxido de cloro.

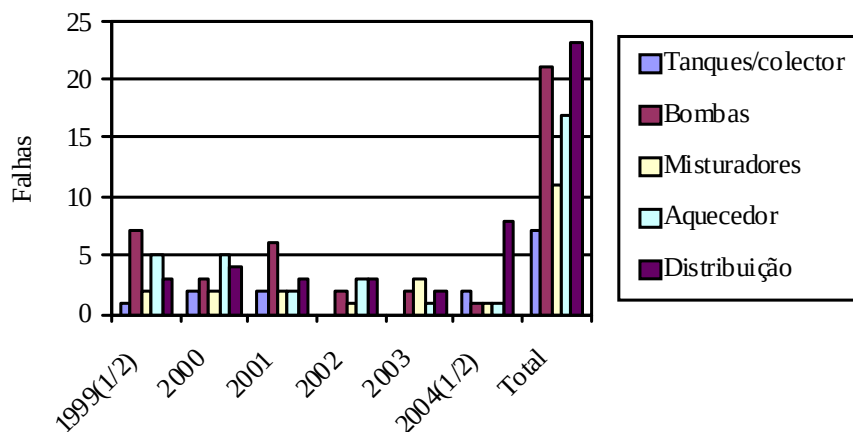


Fig. 4.12 – Número de falhas de vedação (VC) no circuito de dióxido de cloro

Da mesma forma que o caso anterior, as falhas devidas a fugas no circuito de distribuição de dióxido de cloro provocam, necessariamente, reduções de produção e portanto a perda de produção de pasta devido ao circuito ficar totalmente ou parcialmente inoperacional. Por outro lado estas falhas provocam, normalmente, impacto no meio ambiente pelo que também nesta perspectiva não menos importante podem acarretar custos elevados.

As falhas funcionais (avarias) do circuito de ácido sulfúrico são apresentadas na figura 4.13 e para além de bastante perigosas provocam também impacto no meio ambiente.

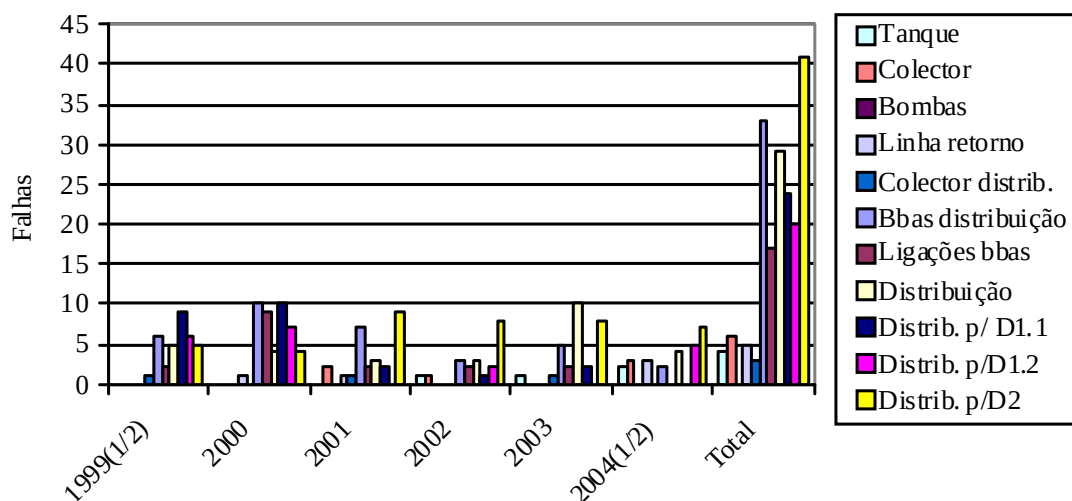


Fig. 4.13 - Número de falhas de vedação (VC) no circuito de ácido sulfúrico

Relativamente a um aditivo o talco (diluído), também usado, as falhas de vedação e condução são apresentadas na figura 4.14 (desde 2001).

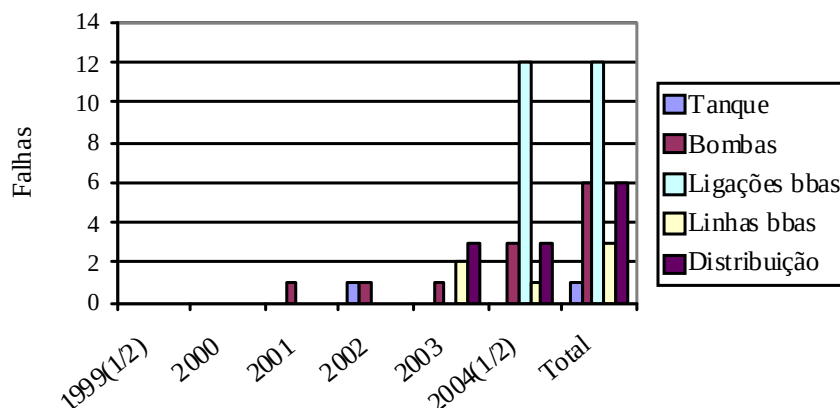


Fig. 4.14 – Número de falhas de vedação (VC) no circuito p/adção de talco

Uma das principais funções das torres da área do branqueamento para além da reacção química dos reagentes na pasta é, também, efectuar as lavagens e contra-lavagens da pasta (para a remoção da lenhina) e extrair o líquido de *out-put* designado por filtrado do processo. A figura 4.15 representa de uma forma simplificada o processo referido onde também se verificara elevado número de falhas funcionais na função de “vedação & condução” de fluidos.

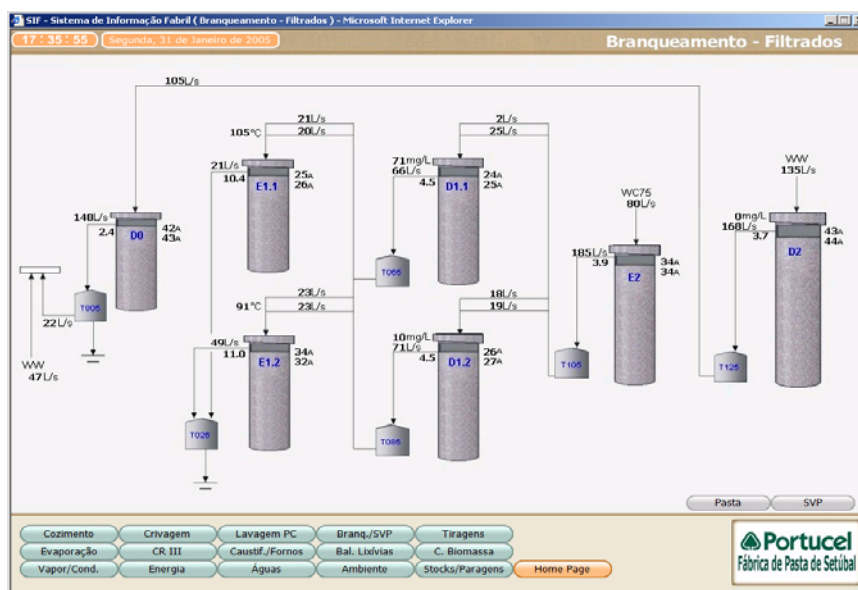


Fig.4.15 – Sequência de lavagens e extracções de filtrados das torres

Para facilidade da quantificação e respectiva localização das falhas vão ser individualizadas para cada uma das torres os respectivos circuitos de: lavagem da pasta; contra-lavagem da pasta; extracção de filtrados; torre (própriamente dita) e outros. Iniciando-se pela torre D0 apresenta-se na figura 4.16 as falhas funcionais fortuitas que ocorreram entre a segunda metade de 1999 e a primeira metade de 2004. Estas são classificadas no CMMS da manutenção pelas de notificações do tipo S011 e S012.

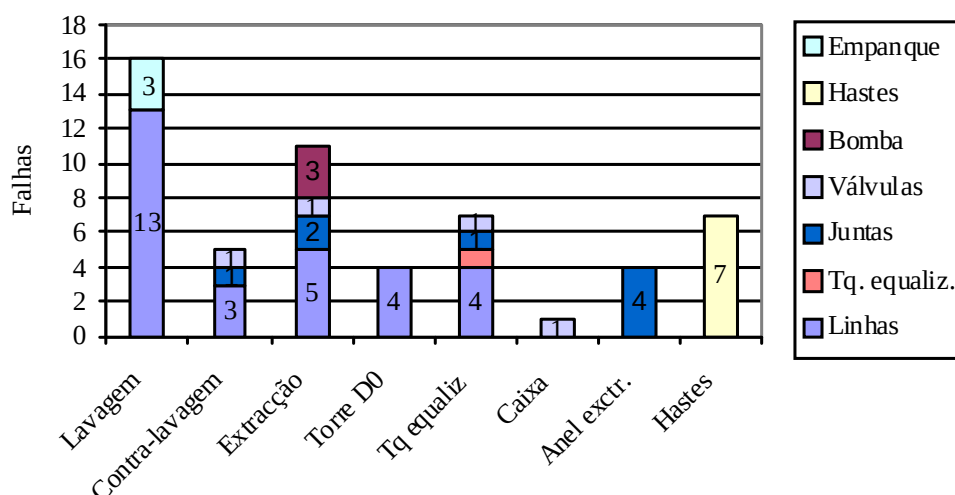
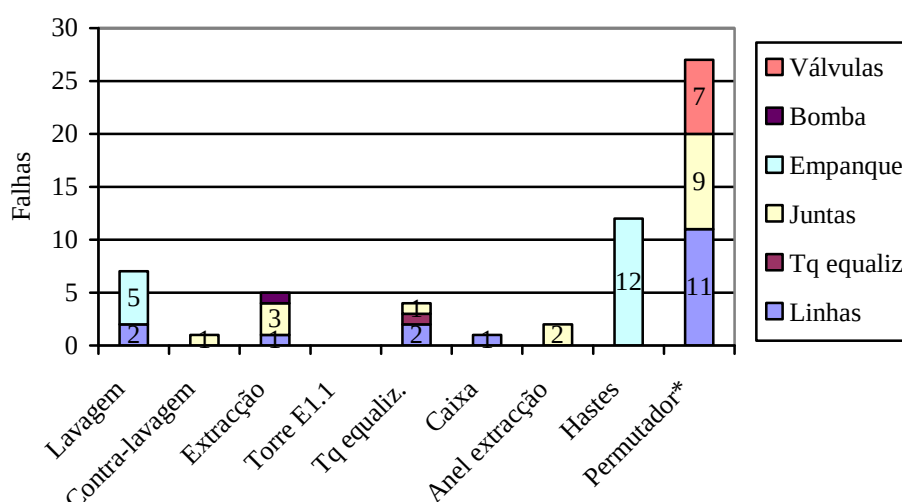


Fig. 4.16 – Número de falhas de vedação (VC) nos circuitos de filtrado da torre D0

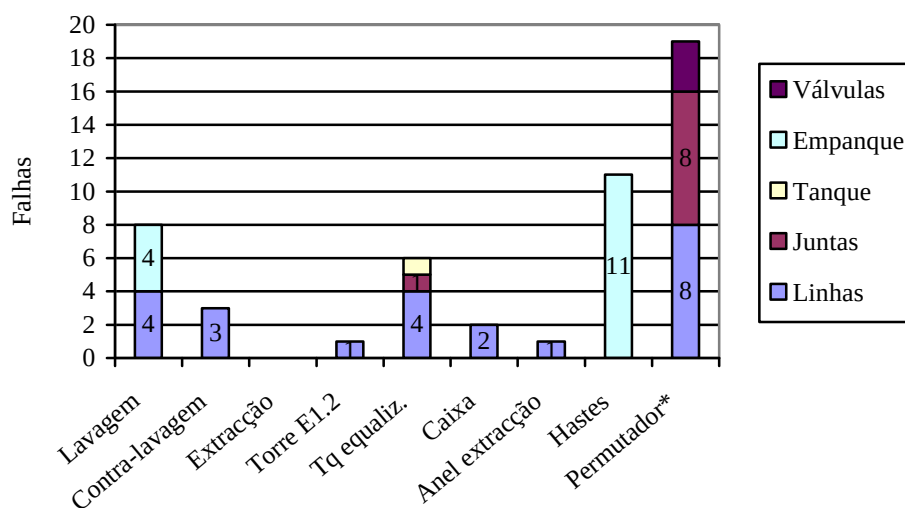
Apresenta-se na figura 4.17 as falhas da função vedação & condução na torre E1.1.



(*Fugas de vapor no permutador)

Fig. 4.17 – Número de falhas de vedação (VC) nos circuitos de filtrado da torre E1.1

A localização e a quantidade de falhas nos circuitos associados à torre E1.2 são apresentadas na figura 4.18.



(*Fugas de vapor no permutador)

Fig. 4.18 – N.º de falhas de vedação e condução nos circuitos de filtrado da torre E1.2

Relativamente às torres D's, ou sejam a D1.1 e D1.2, as falhas de vedação (VC) são apresentadas nas figuras 4.19 e 4.20 respectivamente.

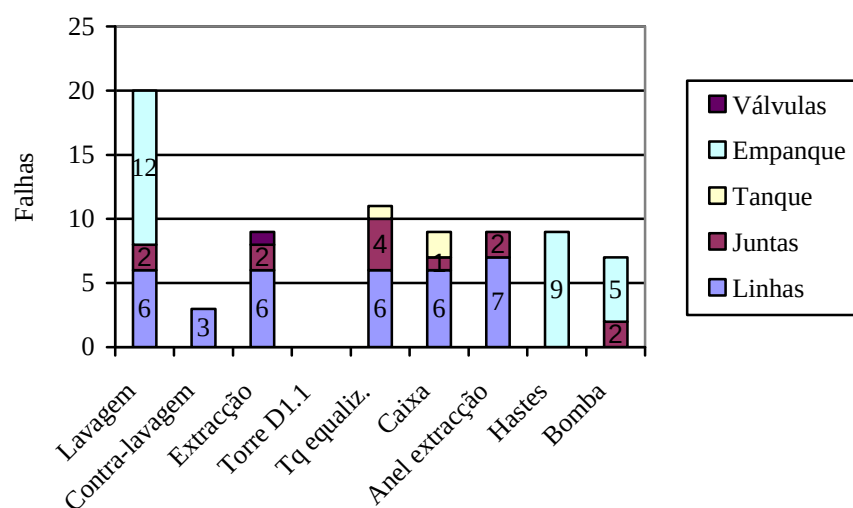


Fig. 4.19 – N.º de falhas de vedação (VC) nos circuitos de filtrados da torre D1.1

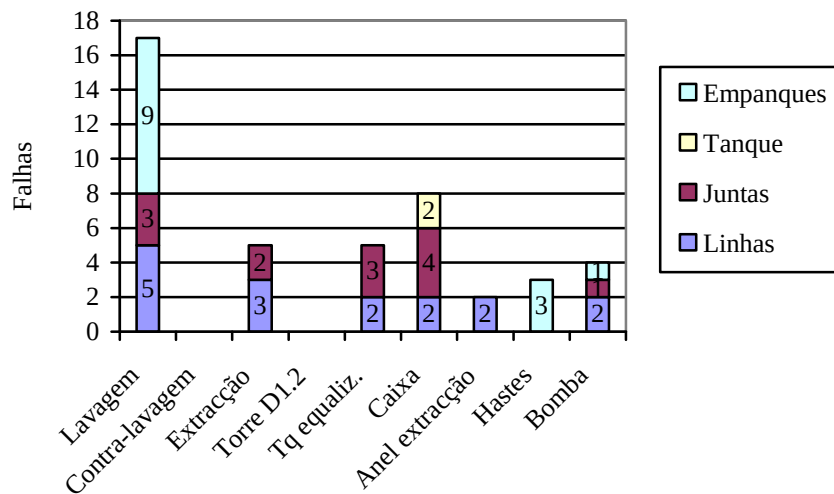


Fig. 4.20 – N.º de falhas de vedação (VC) nos circuitos de filtrados da torre D1.2

Quanto aos circuitos da torre E2 as fugas de filtrados são apresentadas na figura 4.21.

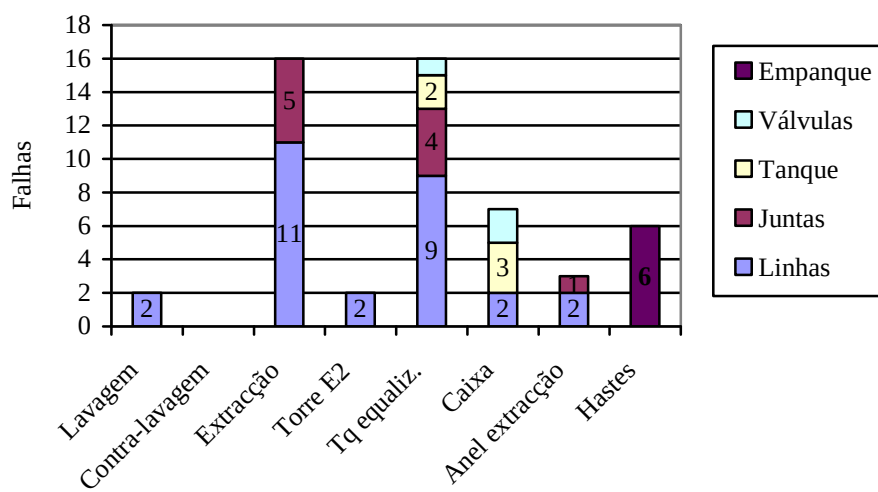


Fig. 4.21 – Número de fugas (VC) de filtrado que originaram manutenção correctiva

Finalmente as falhas dos circuitos de filtrados e a sua localização respeitante à torre D2 são apresentados na figura 4.22.

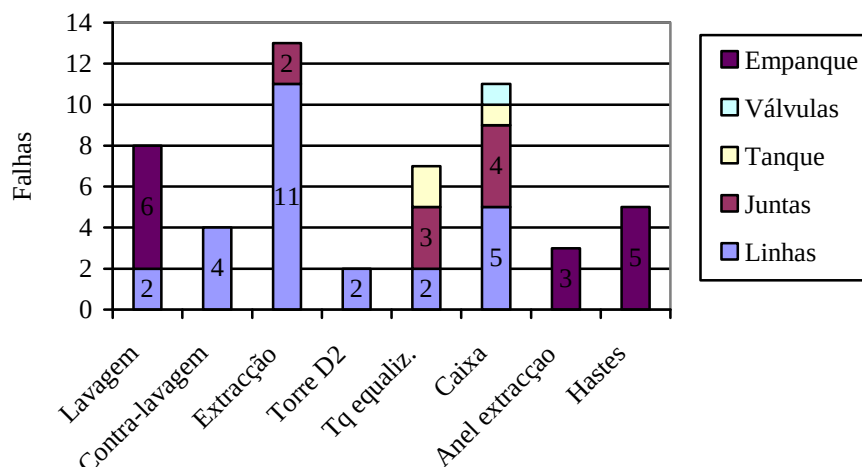


Fig. 4.22 – N.º de fugas (VC) nos circuitos de filtrados da torre D2

Finalmente as fugas de pasta (líquida) nos vários circuitos entre as torres do branqueamento distribuem-se conforme se apresenta na figura 4.23.

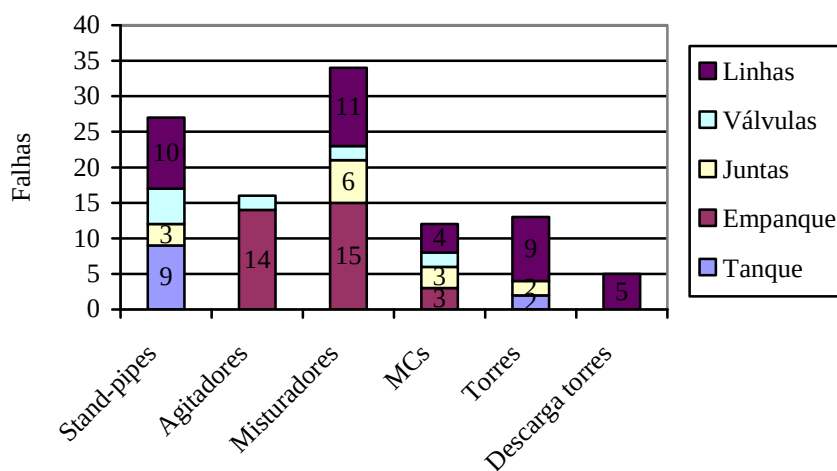


Fig. 4.23 – Distribuição do número das fugas de pasta no branqueamento

Ficaram até aqui quantificadas e identificadas de acordo com o histórico do CMMS da manutenção, o SAP/R3, as falhas funcionais designadas, genericamente, por “fugas” e responsáveis por um elevado número de horas de trabalho dos serviços de manutenção obrigando, na maioria dos casos, a reparações imperfeitas para que não originassem indisponibilidade (*downtime*) da área do branqueamento da pasta.

Quanto às falhas das funções de “indicação & controlo” (IC) e de “regulação & actuação” (RA) caracterizadas nas páginas 181 e 182 e apresentadas nas figura 4.24 e 4.25 duas situações distintas ocorreram entre o final de 1999 até cerca de metade do ano de 2004. Uma delas diz respeito às falhas funcionais mais significativas localizadas nos anéis de controlo dos processos de lavagem, contra-lavagem e da extracção de filtrado e a outra situação refere-se às falhas funcionais nos circuitos do transporte da pasta e ainda noutros circuitos.

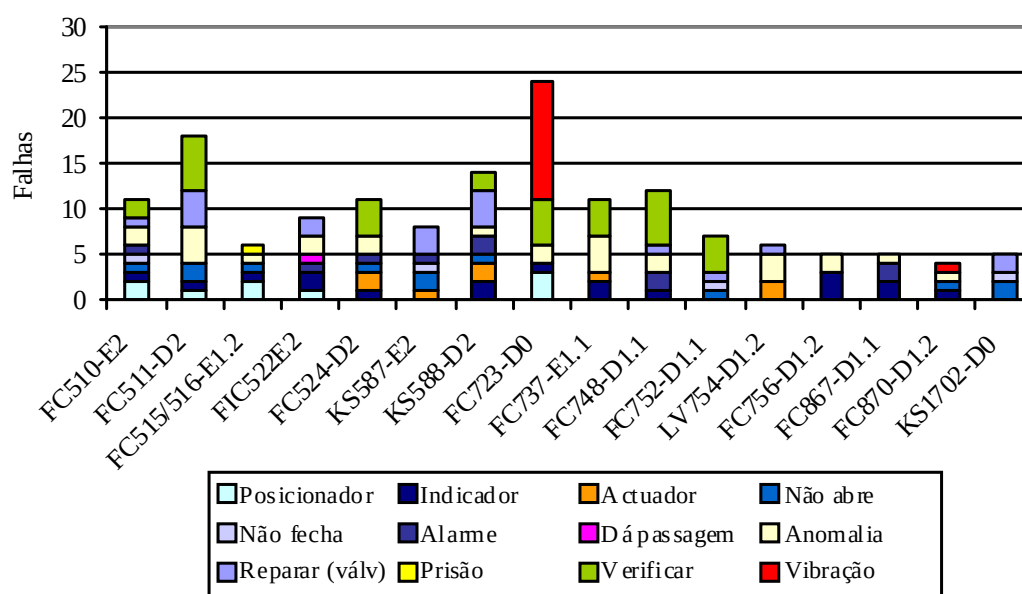


Fig. 4.24 – Anéis de controlo da lavagem e da extracção com maior número de falhas

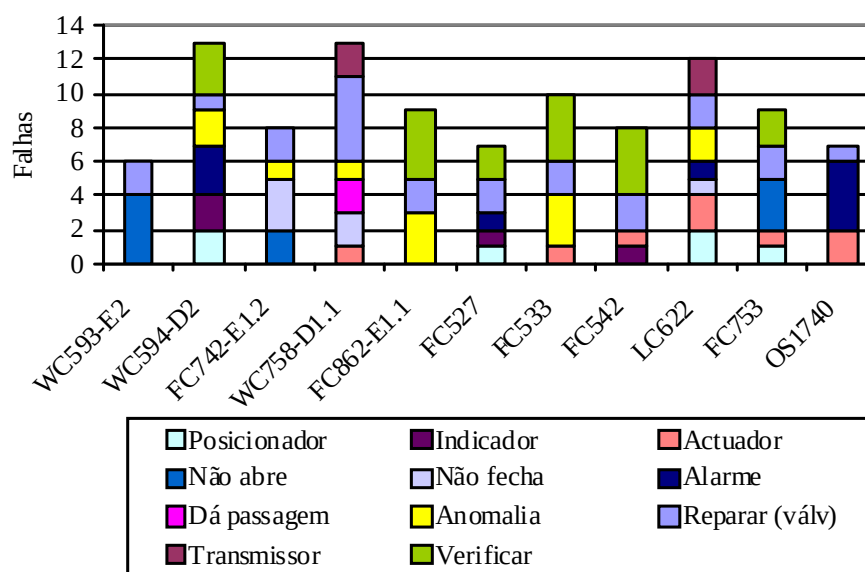


Fig. 4.25 – Anéis de controlo da pasta e outros com maior número de falhas

Outros instrumentos de campo, não menos importante, caracterizados na página 181 referem-se à “indicação e ao controlo” (IC) das variáveis do processo como seja o PH e a condutividade identificados por “QI”. Assim, apresenta-se na figura 4.26 a quantificação das respectivas notificações efectuadas aos serviços de manutenção (instrumentação) e as respectivas falhas funcionais mais significativas.

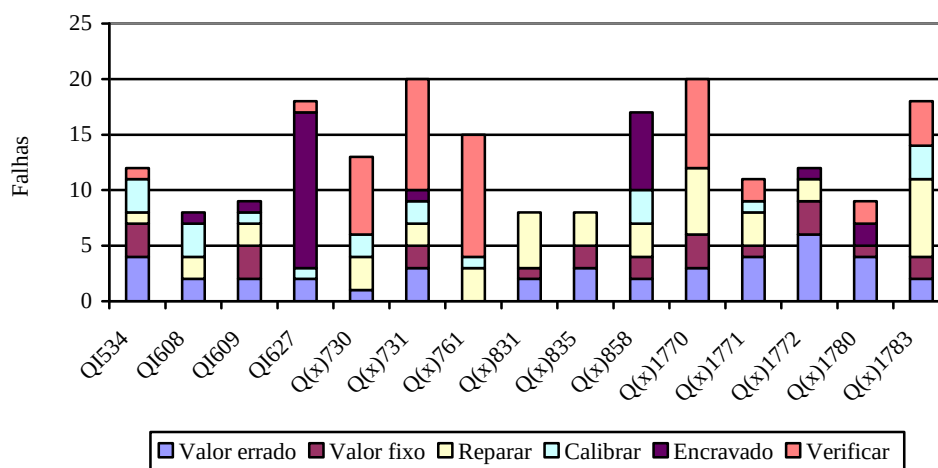


Fig. 4.26 – Número de falhas em aparelhos de PH e de condutividade

A importância da correcta indicação e controlo do processo através destes aparelhos é muito relevante, tanto no que diz respeito ao processo controlado pela função Produção, por poderem influenciar negativa ou positivamente a qualidade da pasta e os consumos de reagentes químicos (com custos elevados) como, também, influencia a fiabilidade dos equipamentos (materiais) e portanto a actividade da manutenção.

De notar que a degradação de determinado tipo de materiais dos equipamentos pode acelerar pelo processo de corrosão química provocado pelo descontrolo da acidez dos fluídos que processam.

Quanto à função com a caracterização adoptada no subcapítulo 4.1.1 por “alimentação/comando & protecção” (ACP) identificaram-se, de acordo com as notificações (reactivas e de inspecção termográfica) feitas aos serviços de manutenção (oficina eléctrica) durante o período também compreendido entre 1999 e 2004, as falhas funcionais que se apresentam na tabela 4.5.

Tab. 4.5 – Principais falhas funcionais de “alimentação/comando & protecção”

	SB132	SB133	SB66	UPS`s	C800	P122	P062	P083
Disparos	-	-	-	-	13	9	4	4
Celas	7	8	8	-	-	-	-	-
<i>Safety-switch</i>	-	-	-	-	-	Várias		
Avaria(s)	-	-	-	3	-	-	-	-

Relativamente aos *safety-switchs* (interruptores de campo) ocorreram várias falhas em especial na alimentação eléctrica das bombas de pasta de média consistência designadas por P022 e P041 (pasta para as torres E1.1 e E1.2).

Finalmente e também baseado no histórico dos equipamentos obtido principalmente através do sistema de gestão CMMS (SAP/R3 módulos PM e MM usados no grupo Portucel Soporcel) desde o ano de 1999 até o primeiro semestre de 2004, apresentam-se na tabela 4.6 as falhas funcionais dos equipamentos classificados como “sistemas produtivos accionados” (SA) onde se incluem todos equipamentos rotativos que processam a pasta. Tais como as bombas hidráulicas, os misturadores, o(s) transportador(es), etc.

Também se apresenta na tabela 4.6 as falhas funcionais classificadas na página 182 por “accionar e transmitir” (AT) que dizem respeito aos motores eléctricos, a redutores e multiplicadores de velocidade e, ainda, itens que lhes estão associados com funções secundárias como sejam as bombas óleo-hidráulicas, as bombas de vácuo, etc.

Tab. 4.6 – Evolução do número de falhas funcionais do equipamento rotativo

	Mot. el.	Trans.	Redut.	Bb. ^a hid.	Misturad.	Bb. ^a ól.	Bb. ^a vác.
1999	14	4	3	28	3	4	6
2000	11	1	2	27	1	7	4
2001	9	2	5	26	2	3	7
2002	8	4	1	20	2	1	7
2003	5	1	1	11	-	4	3
2004(1/2)	4	3	1	6	-	1	1

As localizações e os itens dos equipamentos rotativos onde ocorreram as falhas funcionais AT atrás referidas, no período compreendido entre 1999 e o primeiro semestre de 2004, são as apresentadas na figura 4.27 considerando-se apenas aqueles onde se verificou mais do que uma falha.

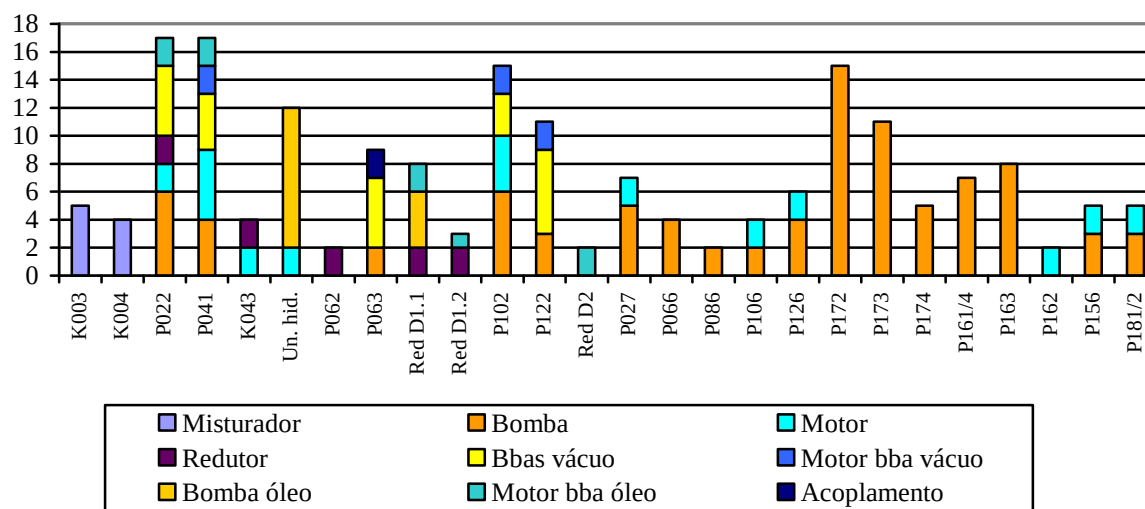


Fig. 4.27 – Número de notificações (S011 e S012) p/ equipamentos rotativos

Através dos dados observados através da figura 4.27 verifica-se que os sistemas de bombagem de pasta P022, P041, P102 e P122 (bombagem de pasta a média consistência) bem como as bombas de dióxido de cloro P172 e P173 e, ainda, a unidade de bombagem de óleo-hidráulico para os cilindros hidráulicos de elevação dos crivos de lavagem da pasta e extração de filtrado são os que apresentaram maior número de falhas funcionais.

Contrariamente aos equipamentos rotativos a função com o maior número de falhas funcionais ou seja a “vedação & condução” (VC) de fluidos ocorreram na sua maior parte nos equipamentos estáticos onde as decisões da gestão da manutenção não têm conduzido a investimentos para o conhecimento da origem das falhas e do risco de avaria. Já nos equipamentos rotativos ao contrário dos estáticos é perfeitamente aceite pela Organização e pela gestão da manutenção investir e manter as “ferramentas” de medição e de diagnóstico para a avaliação da condição de funcionamento dos equipamentos através, por exemplo, da medição e da análise de vibração desses equipamentos.

Neste contexto e em relação à linha de produção de pasta apresenta-se na figura 4.28 para cada área fabril a evolução dos respectivos valores de vibração (rms) dos equipamentos rotativos medidos entre o início do ano de 2004 até Agosto do mesmo ano.

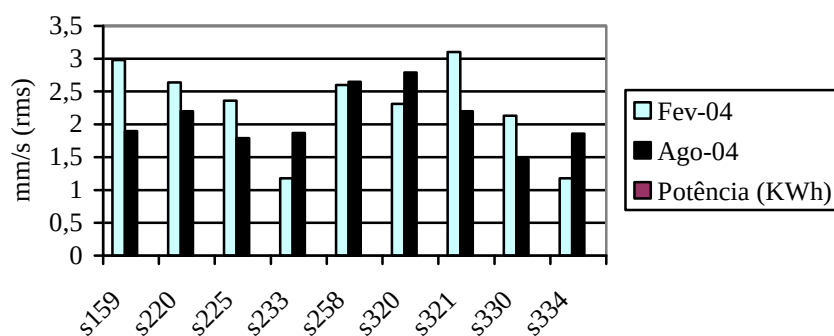


Fig. 4.28 – Evolução dos valores globais de vibração na linha de pasta

Neste caso as falhas funcionais no branqueamento que dizem respeito a “sistemas produtivos accionados” (SA) e “accionar & transmitir” (AT) não se afiguram em quantidade tão preocupantes comparativamente com as de “vedação & condução” (VC) dos fluidos. Deve no entanto ficar claro que na realidade operacional as primeiras falhas funcionais atrás referidas em caso de resultarem numa avaria com paragem do equipamento dão, normalmente, origem a consequências operacionais negativas devido a perdas de produção em consequência da sua indisponibilidade e ineficiências tanto ao nível da produção como nos custos da manutenção. As principais causas prováveis indentificadas por diagnóstico como consequência da medição dos níveis de vibração nos equipamentos rotativos atrás referidos por SA e AT são apresentadas na tabela 4.7.

Tab. 4.7 – Causas prováveis relacionadas com os níveis de vibração

Ano de 2004	N.º de equip. ^{tos}	Rolamento c/ falha	Acoplamento deficiente	Desalinhamento entre eixos	Engrenagens deficientes
Jan. a Março	70%	77%	-	18%	5%
Março a Agosto	30%	33%	67%		

4.1.4 – Identificação dos equipamentos do branqueamento a estudar

A identificação dos equipamentos a estudar é associada a cada uma das grandes áreas de responsabilidade dos serviços de manutenção: a mecânica, a electricidade e a instrumentação. O quadro 4.1 apresenta a identificação dos equipamentos estáticos, rotativos e lineares à responsabilidade operacional da especialidade mecânica.

Quadro 4.1 – Equipamentos mecânicos considerados

Equipamento	Localização	Identificação
Tubagens e respectivas uniões flangeadas	Circuitos da: - Lavagem da pasta (7) - Contra-lavagem (8) - Extracção de filtrado (10) - Pasta (4)	Torre D0
		Torre E1.1
		Torre E1.2
		Torre D1.1
		Torre D1.2
		Torre E2
		Torre D2
Bomba(s) de pasta MC	Bombagem de pasta (4)	P022
		P041
		P062
		P082
		P102
		P122
Caixas de engrenagens	Bombagem de pasta (4)	P021
		P041
		P062
		P082
Cilindros hidráulicos	Sistema elevação dos crivos da lavagem da pasta (9)	Torre D0*
		Torre E1.1**
		Torre E1.2**
		Torre D1.1**
		Torre D1.2**
		Torre E2*
		Torre D2*

Os equipamentos apresentados foram identificados através de uma codificação própria da nomenclatura processual usada pela Portucel na fábrica de pasta de Setúbal e implementada no sistema SAP/R3. Os equipamentos rotativos e estáticos à responsabilidade da especialidade eléctrica são os apresentados no quadro 4.2.

Quadro 4.2 – Equipamentos eléctricos considerados

Equipamentos	Localização	Identificação
Motores eléctricos	Bombagem de pasta (4 e 11)	P022
Celas eléctricas		P041
		P062
		P082
		P102
		P122

Os equipamentos de regulação e controlo (válvulas) da área da instrumentação considerados estudar são identificados nos quadros 4.3, 4.4 e 4.5.

Quadro 4.3 – Equipamentos de instrumentação (lavagem) considerados (7)

Equipamentos	Localização (7)	Identificação
Válvulas automáticas	Circuito de lavagem D0	FRC723
	Circuito de lavagem E1.1	FRC739*
		FRC865*
	Circuito lavagem D1.1	FRC748*
		FRC867*
	Circuito lavagem E1.2	FRC515*
		FRC516*
	Circuito lavagem D1.2	FRC756*
		FRC870*
	Circuito lavagem E2	FRC522
	Circuito Lavagem D2	FRC524

A numeração entre parêntesis apresentada nos quadros 4.1 a 4.6 está de acordo com a figura 4.6 do subcapítulo 4.1. Assim, as válvulas automáticas dos circuitos da lavagem são as do quadro 4.3 e as da contra-lavagem apresentam-se no quadro 4.4.

Quadro 4.4 – Equipamentos de instrumentação (contra-lavagem) considerados (8)

Equipamentos	Localização (8)	Identificação
Válvulas automáticas (on-off)	Contra-lavagem D0	KS1702
	E1.1	KS1706
	D1.1	KS1710
	E1.2	KS584
	D1.2	KS586
	E2	KS587
	D2	KS588

As válvulas automáticas do circuito da extracção de filtrados da pasta são apresentadas no quadro 4.5

Quadro 4.5 – Equipamentos de instrumentação (extracção) considerados (10)

Equipamentos	Localização (10)	Identificação
Válvulas automáticas	Extracção D0	FIR/HI715
	E1.1	FIR/HI737
	D1.1	FIR/HI752
	E1.2	FIR/HI507
	D1.2	FIR/HI509
	E2	FIR/HI510
	D2	FIR/HI511

Relativamente aos equipamentos de instrumentação usados para a medição e indicação das variáveis do processo produtivo vão ser considerados aqueles que constam no “Boletim Diário de Operação” do branqueamento por se considerar que sejam os mais importantes para a qualidade da pasta processada nesta área fabril.

Os equipamentos são os da medição do PH, do cloro residual, da condutividade, da temperatura e da brancura da pasta em cada uma das torres. O quadro 4.6 apresenta a identificação destes equipamentos.

Quadro 4.6 – Equipamentos de instrumentação de medição e controlo

Equipamentos	Localização (4, 6 e 10)	Identificação
Medição cloro residual na pasta (4)	Torre D0	QR717
	Torre D1.1	QR831
	Torre D1.2	QR835
	Torre D2	QR891
Medição de brancura da pasta (4)	Torre D0	QRC716
	Torre D1.1	QR833
	Torre D1.2	QR841
	Torre E2	QRC761
	Torre D2	QR898
Medição de PH (4, 6 e 10)	Circuito de HCl – D0	QI1780
	Circuito de CLO2 – D0	QI1783
	Pasta – E1.1	QRC730
	Extracção – E1.1	QR857
	Pasta – E1.2	QRC731
	Extracção – E1.2	QRC627
	Pasta – D1.1	QI1770
	Extracção – D1.1	QR858
	Pasta – D1.2	QI1771
	Extracção - D1.2	QR608
	Pasta – E2	QRC761
	Extracção – E2	QR628
	Pasta – D2	QI1772
	Extracção – D2	QR609

Ficam assim apresentados entre as páginas 199 e 202 os equipamentos semelhantes a submeter ao estudo de sobrevivência e nos os quais se pretende conhecer os factores mais significativos que influenciam a sua fiabilidade e o risco da avaria.

4.1.5 – Caracterização das notificações (chegadas) por avaria nos equipamentos

Para o caso em estudo ou seja a área do branqueamento da pasta para papel são apresentadas para cada uma das diferentes oficinas (especialidades) dos serviços de manutenção as notificações de trabalho relativas aos pedidos de intervenção (acções) dos serviços da Manutenção emitidas pela Produção e, também, pela própria Manutenção. Estes pedidos dizem respeito ao conjunto de todas as famílias de equipamentos em operação na linha de produção de pasta.

Uma das situações que ocorrem diz respeito às notificações que podem ser classificadas como intervenções reactivas dos serviços da manutenção para execução imediata ou a muito curto prazo. A outra situação é caracterizada pelas necessidades de intervenção proactiva detectadas através das inspecções realizadas como consequência dos planos de inspecção e de manutenção aos equipamentos os quais, na maioria dos casos, a sua execução é levada a efeito a médio ou a longo prazo.

De notar ainda que o aumento do número de notificações registadas origina também o acréscimo das horas necessárias trabalhar ou então um aumento do número de executantes e, assim sendo, um aumento do custo operacional. Esta situação pode ainda afectar a produtividade da manutenção na Organização. Neste caso é a taxa de avarias caracterizada através do MTBF, ou seja a maior ou a menor fiabilidade dos equipamentos, que vai determinar em grande parte o nível das necessidades de intervenção por parte das equipas da Manutenção.

Na área fabril em análise, o branqueamento, não consta no planeamento fabril paragens programadas para manutenção pelo que estas só ocorrem devido a indisponibilidade dos equipamentos a montante ou a juzante da área referida ou, ainda, por outras causas exteriores à fábrica de pasta nomeadamente por falta de energia, água. etc.

Assim, a seguir apresentam-se amostras relativas à distribuição do número das chegadas (notificações) horárias entre as 8h00 e as 17h00, recolhidas através do SAP/R3 (módulo PM) e tratadas através do Excel, dirigidas a cada uma das oficinas dos serviços de manutenção (nesta altura em *outsourcing*) responsáveis pelos equipamentos produtivos e correspondentes aos mesmos 10 dias de cada um dos meses do ano de 2004.

4.1.5.1 – As chegadas das notificações à oficina de instrumentação

A figura 4.29 apresenta uma amostragem da distribuição do número das chegadas (notificações) dos pedidos de manutenção solicitadas pela produção para os equipamentos de instrumentação do branqueamento em cada um dos intervalos horários. A amostra diz respeito a dez dias de cada um dos meses do ano de 2004 correspondendo ao período geral de funcionamento das equipas de Manutenção ou seja entre as 8h00 e as 17h00.

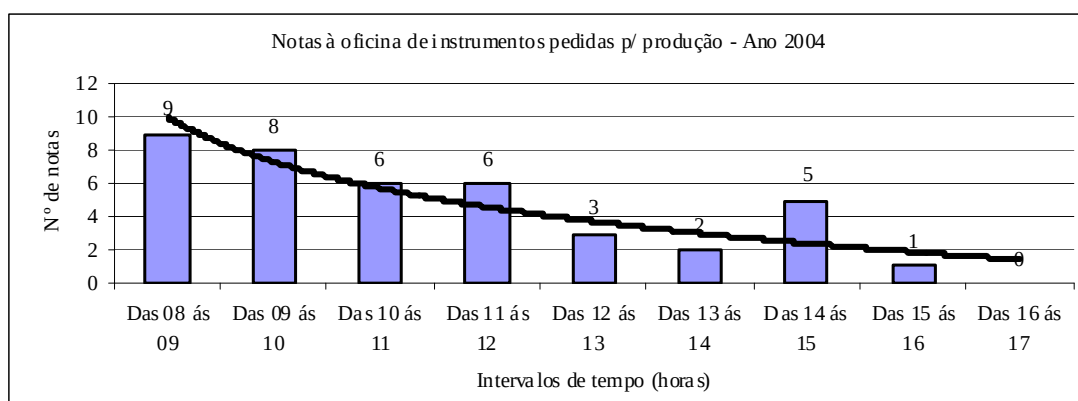


Fig. 4.29 – Chegadas das notificações efectuadas pela Produção

Por sua vez a figura 4.30 apresenta agora a distribuição horária das chegadas das notificações efectuadas pela própria oficina de instrumentação tendo por base as inspecções de rotina efectuadas aos equipamentos e também relativas aos mesmos dez dias de cada dos meses do ano de 2004.

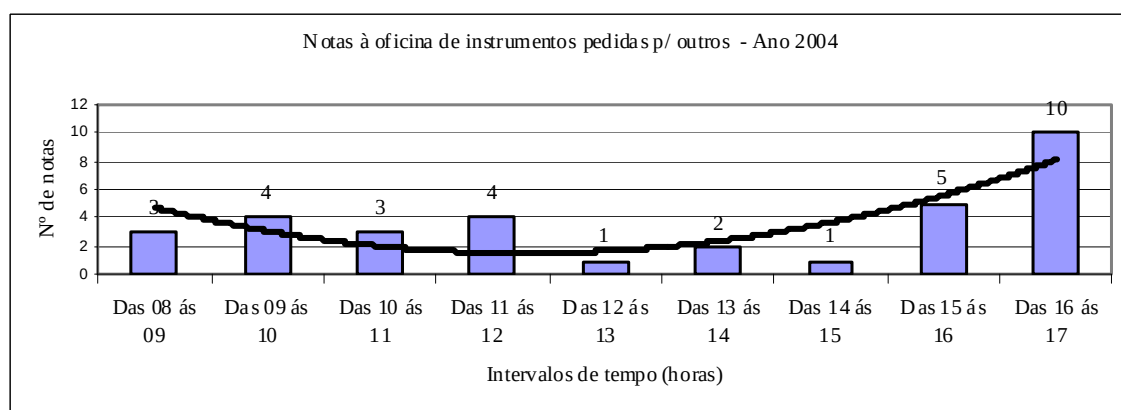


Fig. 4.30 – Chegadas das notificações efectuadas pela Manutenção

4.1.5.2 – As chegadas das notificações à oficina eléctrica

Relativamente às notificações efectuadas à oficina eléctrica apresenta-se na figura 4.31 uma amostragem da distribuição do número das chegadas (notificações) horárias efectuadas pela Produção para os equipamentos eléctricos da área do Branqueamento. A amostra também corresponde aos mesmos dez dias de cada um dos meses do ano de 2004 relativa o período geral de funcionamento das equipas de Manutenção ou seja entre as 8h00 e as 17h00.

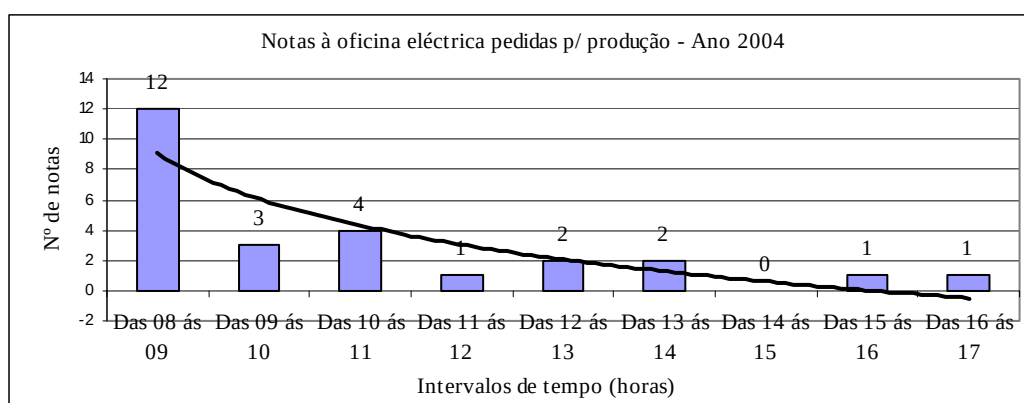


Fig. 4.31 – Chegadas das notificações efectuadas pela Produção

A figura 4.32 apresenta a distribuição horária das chegadas das notificações efectuadas pela própria oficina de instrumentação tendo por base as inspecções de rotina efectuadas aos equipamentos eléctricos e também correspondentes aos mesmos dez dias de cada dos meses do ano de 2004.

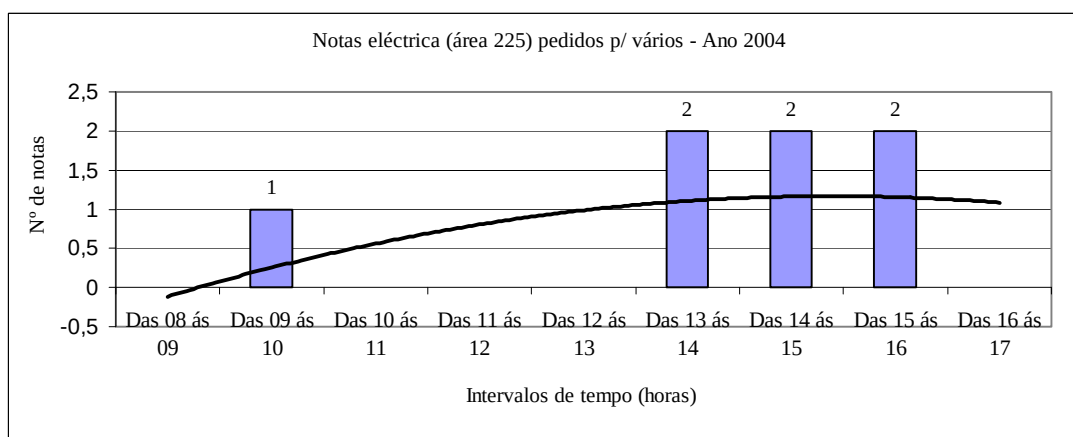


Fig. 4.32 – Chegadas das notificações efectuadas pela Manutenção

4.1.5.3 – As chegadas das notificações à oficina mecânica

Finalmente, as notificações efectuadas à oficina mecânica são apresentadas na figura 4.33 através do mesmo tipo de amostragem da distribuição do número de chegadas (notificações) horárias efectuadas pela Produção para os equipamentos mecânicos do branqueamento correspondentes aos mesmos dez dias de cada um dos meses do ano de 2004 durante o período geral de funcionamento entre as 8h00 e as 17h00 das equipas de Manutenção.

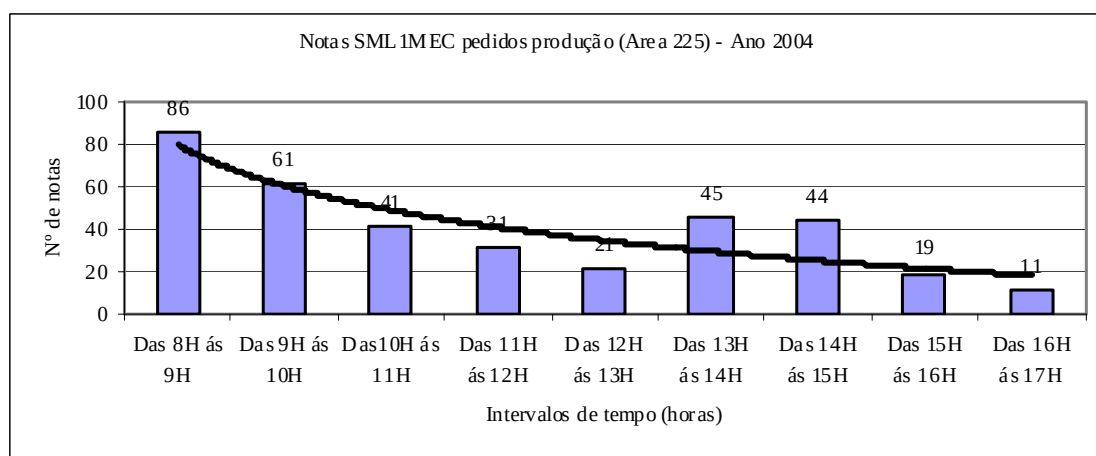


Fig. 4.33 - Chegadas das notificações efectuadas pela Produção

A figura 4.34 apresenta a distribuição horária das chegadas das notificações efectuadas pela própria oficina mecânica tendo por base as inspecções de rotina efectuadas aos equipamentos mecânicos e também correspondentes aos mesmos dez dias de cada dos meses do ano de 2004.

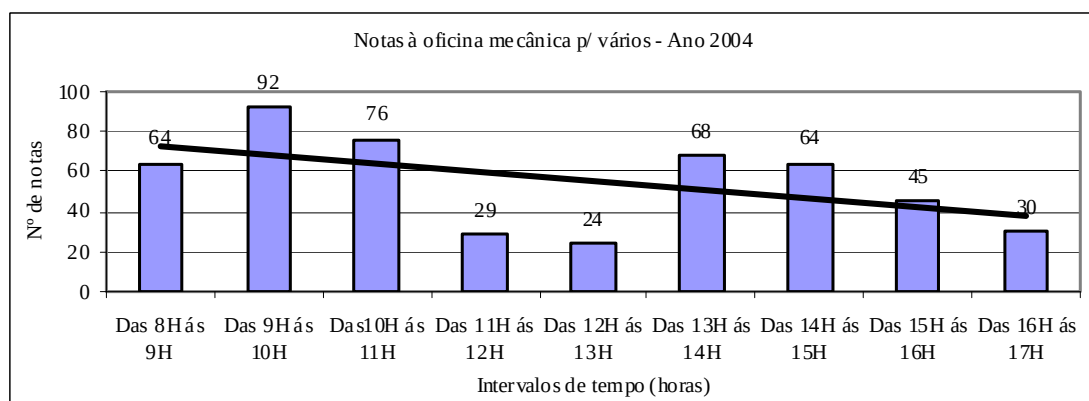


Fig. 4.34 - Chegadas das notificações efectuadas pela Manutenção

4.1.5.4 – As chegadas das notificações que ficam a aguardar paragem

Na sequência das notificações efectuadas no SAP/R3 a cada uma das especialidades dos serviços de manutenção verifica-se a existência de uma porção de notificações em que apenas é possível efectuar uma reparação mínima ou imperfeita. Para se efectuar a reparação definitiva ou perfeita requerida é necessária a paragem do equipamento e, em muitas situações, da área fabril. Assim, apresenta-se na tabela 4.8 o número total das notificações efectuadas para a área do branqueamento nos diferentes períodos de tempo e a cada especialidade dos serviços de manutenção.

Tab. 4.8 – Número total de notas do branqueamento por especialidades

Ano(s)	Mecânica	Eléctrica	Instrumentos	Plásticos	Total
2001 (2ºS)	270	55	110	35	463
2004 (2ºS)	240	55	115	45	455
2005 (1ºS)	260	60	125	50	495

As quantidades totais das ordens de trabalhos em consequência das notificações efectuadas e registadas no SAP/R3 (módulo PM) para cada uma das especialidades que aguardaram a sua execução definitiva por necessidade de paragem (parcial ou total) da área do branqueamento são apresentadas na figura 4.35 bem como a respectiva média semanal e as quantidades máximas e mínimas também verificadas.

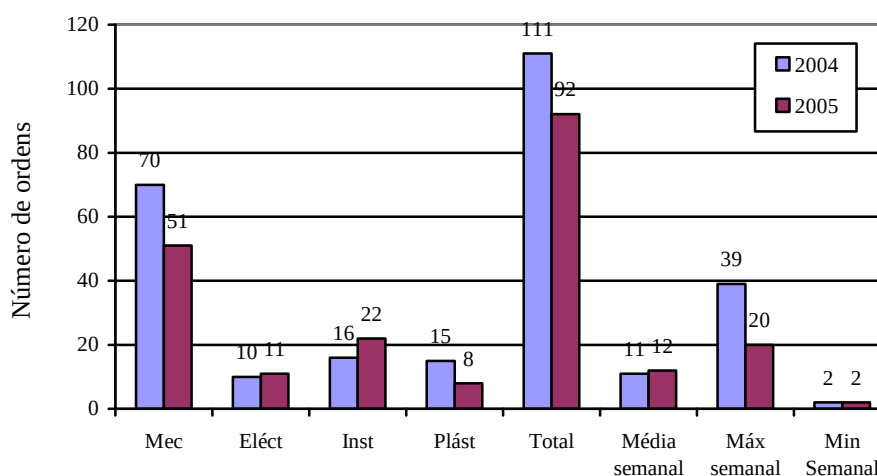


Fig. 4.35 – Ordens de trabalho que aguardaram paragem do Branqueamento

Verifica-se que na área fabril do branqueamento da pasta a proporção média entre 2004 e 2005 dos trabalhos a aguardar paragem em cada uma das especialidades de manutenção são as que se apresentam na tabela 4.9.

Tab. 4.9 – Proporção do número de trabalhos a aguardar paragem do branqueamento

Ano	Mecânica	Eléctrica	Instrumentos	Plásticos
2004	63%	9%	14%	14%
2005	55%	12%	24%	9%
Média	59%	10,5%	19%	11,5%

O número total das ordens de trabalho por concluir devido a aguardar a paragem dos equipamentos da área do branqueamento representaram, entre 2004 e 2005, cerca de 9,5% a 11,5% do total das, aproximadamente, 950 notas de trabalho efectuadas a área fabril. Por outro lado as ordens de trabalho do branqueamento representam, relativamente a todas as áreas fabris da linha de produção de pasta, entre 8% a 15% do total das ordens de trabalho que aguardam paragem de equipamentos ou das áreas.

4.1.6 – Caracterização do atendimento (serviço) das equipas de manutenção

O atendimento das notificações é interpretado como o tempo necessário ao diagnóstico, se existir, à preparação do trabalho se necessária e ao tempo das operações a efectuar pela equipa de manutenção para repor a fiabilidade operacional requerida do equipamento depois deste ter avariado. A maior ou menor facilidade do atendimento dos pedidos de reparação (notificações) é também encarada como uma medida de manutibilidade ou seja a capacidade de um equipamento ser mantido em boas condições operacionais. Se o equipamento dispuser de boas características de manutibilidade uma avaria será mais facilmente reparada pela equipa de manutenção (serviço) e o tempo de reparação será minimizado. Assim, caracteriza-se o tempo de atendimento por MTTR como o tempo médio da reparação dos equipamentos. Apresenta-se no Anexo I os dados recolhidos através do CMMS da manutenção da fábrica da da Portucel em Setúbal (SAP/R3 – módulo PM) entre 2004 e 2005 apresentando-se, entretanto, na tabela 4.10 apenas uma amostra da dimensão das equipas intervenientes e os respectivos tempos de execução das operações nos equipamentos do branqueamento que incluem, também, os tempos logísticos que lhes estão associadas.

Tab. 4.10 – Equipamentos, equipas (dimensão) e tempo (horas) de duração

Componente ou equipamento	Equipas e duração média de execução							
	Mecânica		Eléctrica		Instrumentos		Plásticos	
	Equipa	Tempo	Equipa	Tempo	Equipa	Tempo	Equipa	Tempo
Acoplamento	2	4,6						
Actuador					2	2		
Acumulador	2	3,4						
Aparadeira	x	x					x	x
Armadura			1	4				
Bomba	2	5,1						
Botoneira			1	4				
Casquilho	1	x					x	x
Caudalímetro					1	5,6		
Caixa			1	4,5			x	x
Cela			1	4,5				
Cilindro	3	7						
...								

Nota: Nas parcelas assinaladas com x não foram obtidos resultados na amostra considerada

O sistema informático (CMMS-SAP/R3) usado pelos serviços operacionais de cada uma das especialidades da função manutenção permite que sejam atribuídos os tempos estimados para a execução de cada ordem de trabalho e após a sua execução é possível conhecerem-se os tempos realmente gastos e a duração (aproximada) do trabalho através dos registos automáticos efectuados nos relógios de ponto à obra por cada um dos executantes intervenientes no trabalho. Foi com base nestas possibilidades permitidas (mas com algumas precauções) pelo sistema de informação SAP/R3 que foram recolhidos os tempos reais da duração dos trabalhos da área do branqueamento bem como a dimensão das equipas intervenientes. De notar que os dados relativos ao ano de 2001 (ano anterior ao início do *outsourcing* da Manutenção) eram muito incompletos devido, principalmente, ao facto do sistema SAP ter sido implementado ainda à relativamente pouco tempo, razão pela qual se deu relevância aos dados do ano de 2004 e de 2005.

Assim, verificou-se que na especialidade mecânica (serviço - sml1amec) cerca de 30% a 35% dos atendimentos (operações de manutenção) relativos às avarias e às falhas que ocorreram na área do branqueamento foram efectuados com o recurso a equipas constituídas por um técnico executante; em cerca de 50% a 55% dos trabalhos o atendimento é levado a efeito através de dois técnicos executantes e finalmente em cerca de 10% dos trabalhos as equipas têm uma dimensão de três (ou mais) técnicos executantes. Por outro lado os tempos médios verificados para a duração dos atendimentos dos trabalhos da especialidade mecânica registados no sistema SAP/R3 (CMMS) são iguais ou superiores a 3 horas e atingem as 9,2 horas.

Na especialidade eléctrica (serviço - sml1ele) verificou-se que em cerca de 80% dos atendimentos relativos aos trabalhos de reparações são levados a efeito por um técnico executante e em 20% dos trabalhos por dois técnicos executantes. Neste caso, o tempo médio da duração dos trabalhos desta especialidade são iguais ou superiores a 1 hora e até 5,3 horas.

Na especialidade de instrumentação (serviço - sml1inst) verificou-se que em cerca de em 75% dos atendimentos de trabalhos relativos às avarias verificadas são levados a efeito através de um técnico executante e nos restantes 25% dos atendimentos por dois técnicos executantes. Os tempos médios da duração dos trabalhos variaram entre 1 hora até 8 horas

Finalmente, na especialidade dos plásticos (serviço - sml1plas) e ainda relativamente à amostra dos dados recolhidos verificou-se que cerca de 50% dos atendimentos são efectuados por um técnico executante e em cerca de 40% por dois técnicos e finalmente cerca de 10% por três técnicos executantes. Os tempos de duração destes trabalhos variaram entre 3,2 horas e 6,2 horas.

A caracterização dos tempos dos atendimentos dos pedidos de reparação (notificações) efectuados para todas as áreas produtivas da linha de pasta referidas ao longo do subcapítulo 4.1 e apresentadas através de um diagrama simplificado na figura 4.2 são representadas ns figuras seguintes.

As figuras 4.36 e 4.37 representam as durações de todos os trabalhos de reparação da especialidade mecânica efectuadas no mês de Novembro de 2005. A amostra diz respeito à oficina sml1amec que atende as notificações efectuadas para os equipamentos mecânicos desde a alimentação de aparas aos digestores até ao branqueamento da pasta.

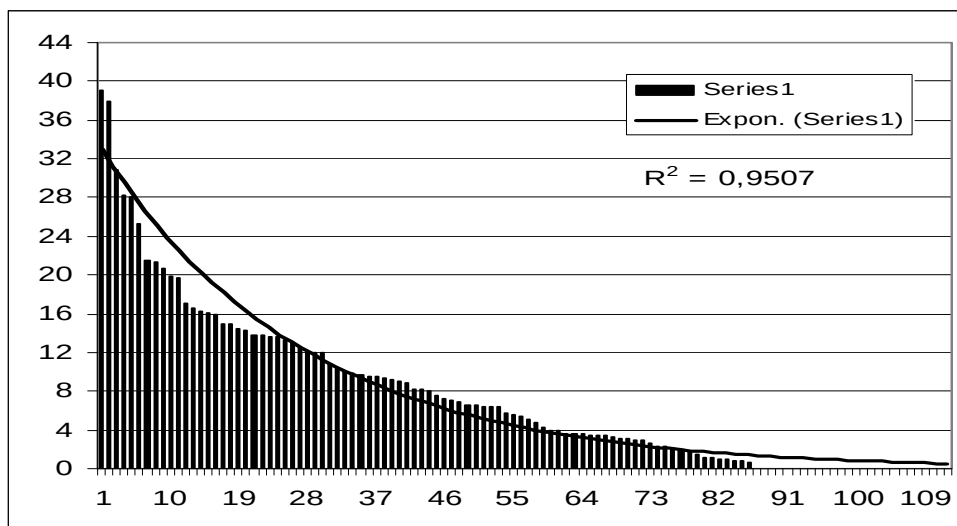


Fig. 4.36 – Durações (h) reais dos atendimentos da oficina sml1amec

A figura 4.37 diz respeito à duração dos atendimentos da oficina sml1bmec responsável pelos atendimentos de todas as notificações efectuadas para os equipamentos mecânicos das restantes áreas fabril da linha de pasta não consideradas anteriormente.

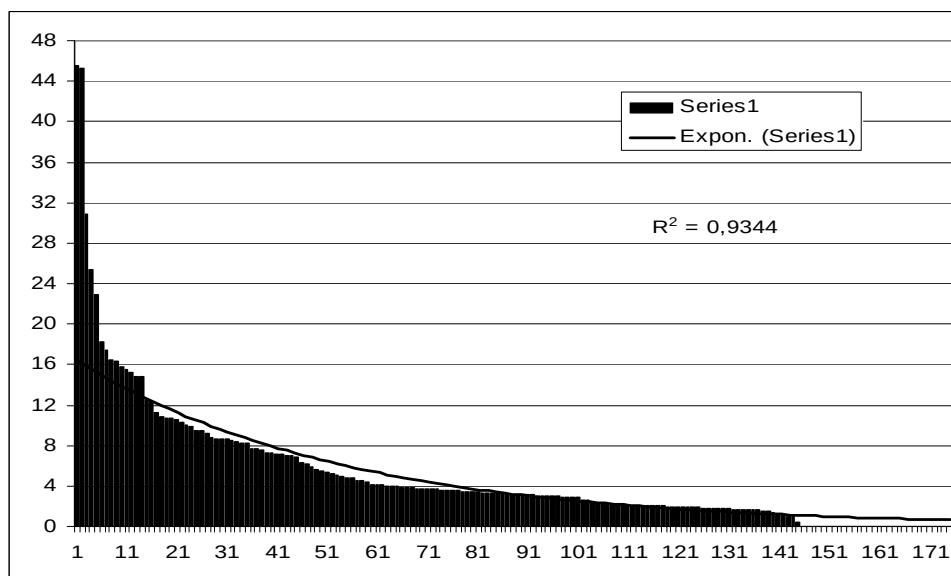


Fig. 4.37 – Durações (h) reais dos atendimentos da oficina sml1bmec

A figura 4.38 diz respeito à duração de uma amostra dos atendimentos da oficina sml1ele responsável pelo atendimento das notificações efectuadas para todos os equipamentos eléctricos de força e comando da linha de produção de pasta.

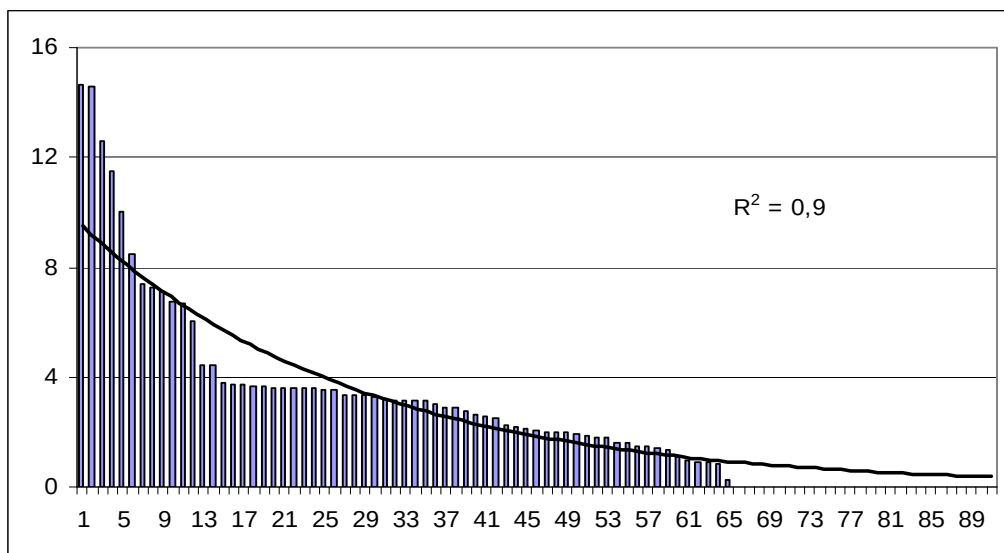


Fig. 4.38 – Durações (h) reais dos atendimentos da oficina sml1ele

Finalmente, a figura 4.39 diz respeito à duração dos atendimentos da oficina sml1inst responsável pelo atendimento das notificações efectuadas para toda a instrumentação de medida e controlo do processo da linha de produção de pasta.

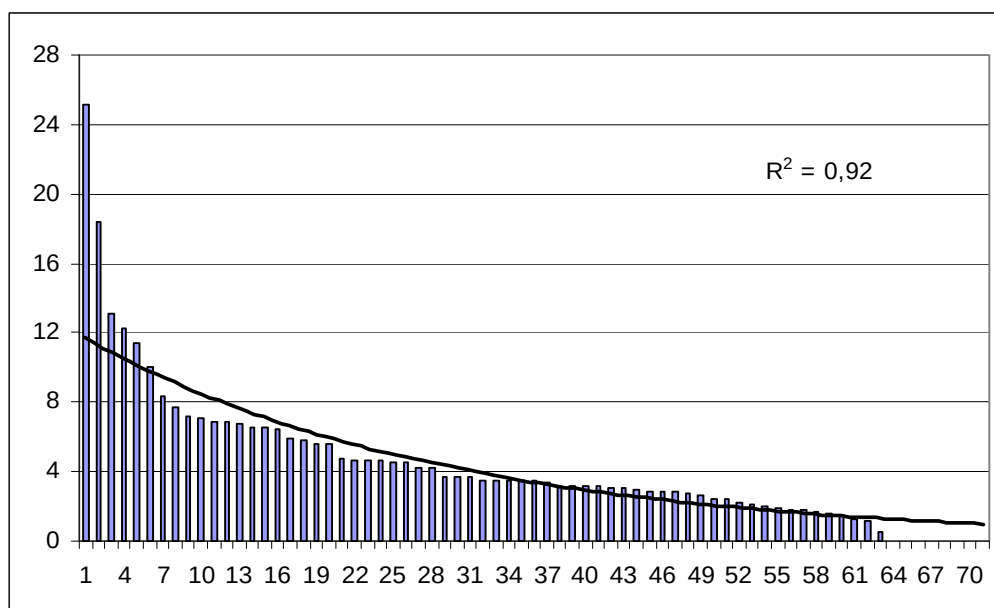


Fig. 4.39 – Durações (h) reais dos atendimentos da oficina sml1inst

4.2 – Caracterização da organização do processo de manutenção

4.2.1 – O *insourcing* na década de 90

Em 1992 já depois do grande investimento verificado no final da década de 80 na actualização tecnológica dos equipamentos, na expansão fabril e ao mesmo tempo na racionalização de meios a organização da manutenção, do então chamado Centro Fabril da Portucel em Setúbal, apresentava uma Direcção de Conservação e Projectos dependente da Direcção do Centro Fabril e era suportada pelos seguintes serviços:

- Planeamento / Inspeção e Preparação / Métodos
- Conservação Mecânica / C. Civil e Oficinas
- Conservação Eléctrica / Instrumentos e Oficinas
- Gabinete de Projectos

Dependente da Direcção de Conservação e Projectos existia ainda um núcleo de suporte constituído por técnicos superiores de conservação. Esta estrutura organizacional é apresentada na figura 4.40.

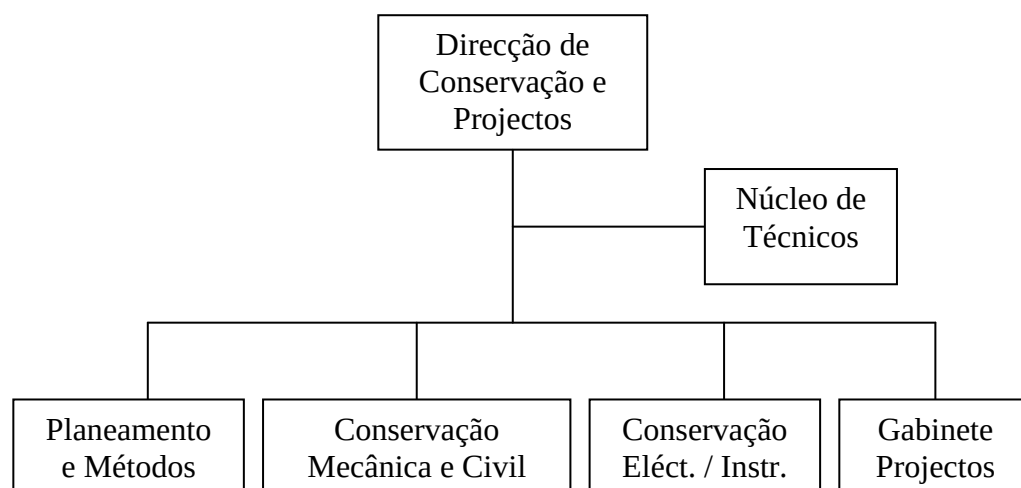


Fig. 4.40 – Organização da direcção de manutenção em 1992

O efectivo da conservação era, em 1992, de 186 pessoas o que correspondia a cerca de 28% do efectivo total da empresa reflectindo uma componente importante dos custos directos de conservação não só pelo seu peso específico (38%) como pelo custo fixo.

Desde 1972 até 1992 assistiu-se, de acordo com os dados obtidos, a duas fases distintas:

- De 1972 a 1982 o quadro efectivo cresceu cerca de 70%
- De 1981 a 1992 o quadro efectivo reduziu cerca de 36%

O perfil das idades do efectivo dos serviços da direcção conservação e projectos era em 1992 conforme o que se apresenta nas figuras 4.41 a 4.43.

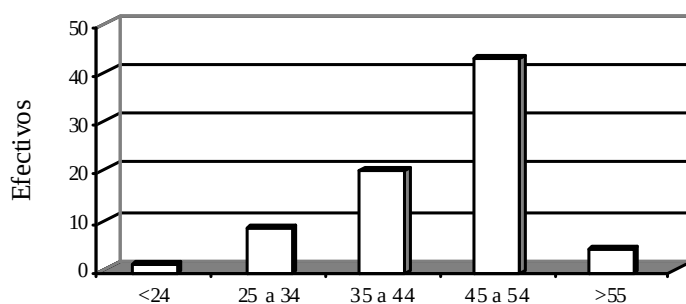


Fig. 4.41 – Idades dos efectivos do serviço de mecânica e c. civil (inclui a lubrificação)

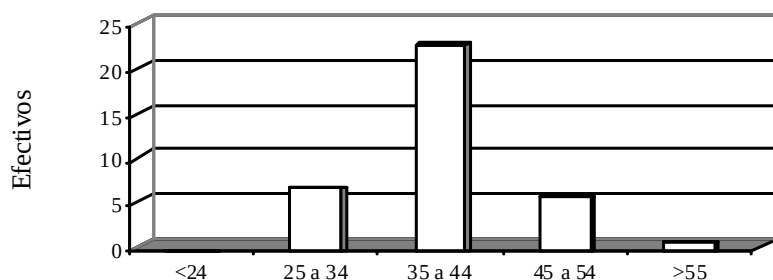


Fig. 4.42 – Idade dos efectivos do serviço de electricidade

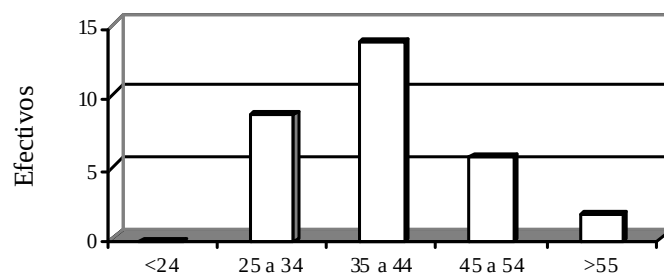


Fig. 4.43 – Idade dos efectivos do serviço de instrumentos e electrónica

Os níveis de formação de base, apresentados nas figuras 4.44 a 4.46, ou seja a escolaridade do efectivo de cada um dos serviços operacionais da direcção de manutenção é caracterizada através do número de anos de ensino.

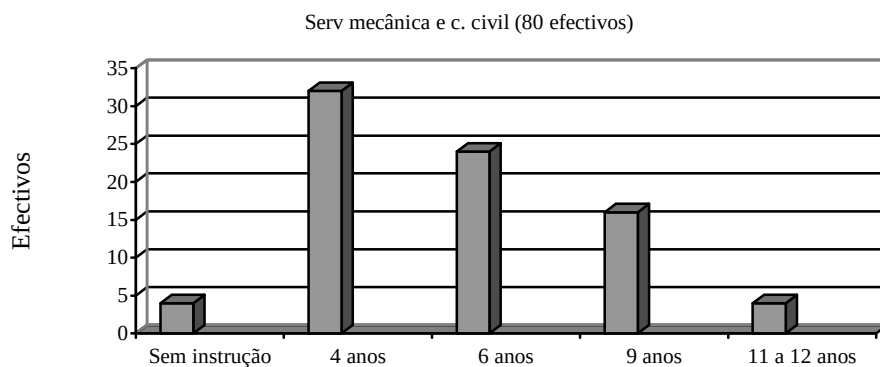


Fig. 4.44 – Anos de escolaridade do efectivo do serviço mecânico e c. civil

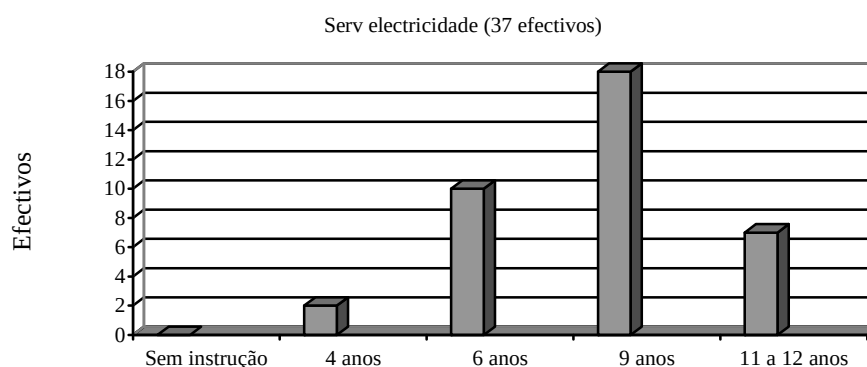


Fig. 4.45 – Anos de escolaridade do efectivo do serviço de electricidade

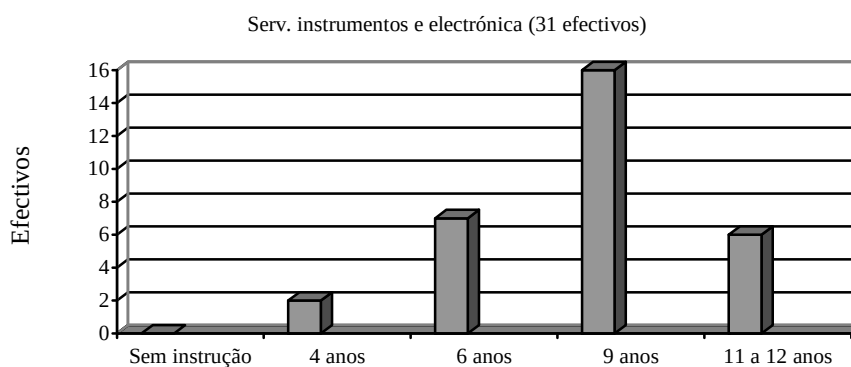


Fig. 4.46 – Anos de escolaridade do efectivo do serviço de instrumentos

O efectivo atrás referido que totalizava as 186 pessoas incluía também o serviço de planeamento e métodos (19), a ferramentaria (3), os turnos rotativos (20), a conservação civil e os andaimes (11), os plásticos (2), as viaturas (5) e as oficinas (34) o que prefaz no apoio directo às áreas fabris (*front-office*) para toda a fábrica um total de 92 efectivos. Na linha de produção de pasta, a que nos interessa neste trabalho, a distribuição dos executantes dedicados em cada uma das especialidades para uma produção anual de pasta verificada na altura em cerca de 380000 ton (TAD) era a que se apresenta na tabela 4.11.

Tab. 4.11 – Efectivo executante da linha de pasta em 1992 por especialidades

Especialidades/Zonas	Zona A	Zona B	Sub total
Mecânica e lub.	8	6	14
Plásticos	2		2
Electricidade	4	4	8
Instrumentação	5	4	9
Electrónica	2		2
Total	17 + (2)	14 + (2)	35

As zonas A e B referidas na tabela 4.11 incluíam, respectivamente, a alimentação das aparas até ao branqueamento, a tiragem de pasta e os produtos químicos. Posteriormente em 1996 a estrutura da organização da função manutenção foi alterada depois de um estudo encomendado à firma SGIE e devido à identificação das seguintes dificuldades entre outras:

- Elevada estratificação hierárquica;
- Reduzida interferência da engenharia na resolução de problemas;
- Pouco entrosamento entre a Manutenção e a Produção;
- Insensibilidade aos custos e aos indicadores de gestão;
- Deficiente preparação dos trabalhos;
- Deficiente actividade preventiva;
- Deficiente sistema de gestão da manutenção;
- Baixa produtividade;
- Deficiente política de sub-contratação.

Em 1995 o custo de manutenção era cerca de 2800000 contos conduzindo na altura a um custo unitário por tonelada de pasta produzida perto dos \$50 USD. Passou-se então de uma estrutura de manutenção mecânica, eléctrica e instrumentação, conforme atrás apresentado, para uma estrutura baseada na responsabilização por áreas fabris com a integração das diferentes especialidades de manutenção. Nesta situação as especialidades foram afectas aos responsáveis por cada uma das três áreas operacionais então criadas suportados pela, também criada, engenharia de manutenção. A execução dos trabalhos de manutenção era suportada por subcontratos de mão-de-obra e serviços cuja repartição de custos em milhares de contos se apresentam na figura 4.47.

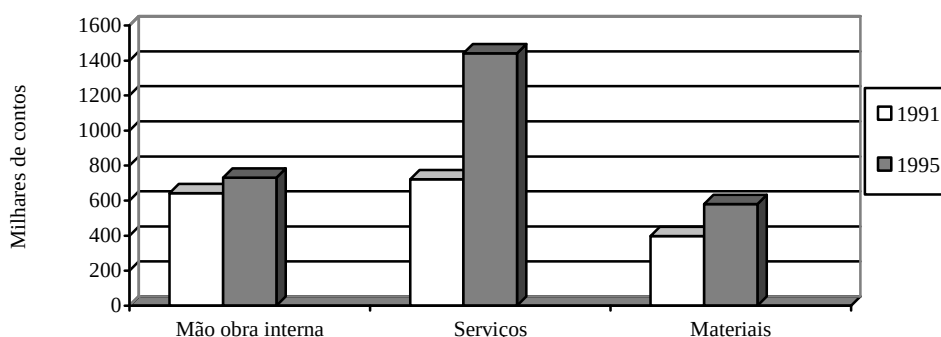


Fig. 4.47 – Repartição dos custos de manutenção

4.2.2 – O *outsourcing* da manutenção no início do século XXI

No início do ano 2001 no 3º Encontro de Quadros da Portucel foi divulgada pela gestão de topo a decisão da opção pelo *outsourcing* nos serviços de manutenção. O modelo de gestão da manutenção adoptado pelo grupo Portucel Soporcel tinha por base o *outsourcing* operacional com engenharia dedicada para as instalações de produção de pasta, assumindo-se uma postura de parceria onde o contratante se responsabiliza operar o processo e o contratado por manter os equipamentos operacionais com limites mínimos de eficiência tempo (disponibilidade) acordados até ao nível 4 da norma AFNOR NF X 60-010 e outros indicadores reguladores da base contratual a um preço fixo submetido ao princípio de bonificações e penalizações. Os serviços contratados eram prestados também pela própria entidade contratante através de um acordo complementar de empresas (ACE) que permitia a integração e a afectação dos seus recursos humanos operacionais ao *outsourcing* durante a vigência do contrato.

O contratado comprometia-se também no início do contrato de *outsourcing* a continuar com os efectivos existentes nos contratos parciais antes efectuados pelo contratante.

Cabe referir que ao grupo Portucel Soporcel ficou afectada a componente já existente da sua engenharia de manutenção; os aprovisionamentos; a gestão dos stocks das peças de armazém e as recuperações oficinais correspondentes e o nível 5 da NF X 60-010 e, naturalmente, o controlo do *outsourcing* através de um gestor do acompanhamento do contrato. Ao grupo da engenharia de manutenção da Portucel Soporcel coube a responsabilidade da elaboração dos planos de manutenção e a aceitação, ou não, dos planos propostos pela engenharia dedicada do *outsourcing* e, ainda, a preparação dos trabalhos de revisão aos equipamentos inerentes ao nível 5 da norma Francesa já atrás referida.

Apresenta-se em seguida a caracterização concreta do modelo de *outsourcing* da manutenção aplicado na fábrica da Portucel em Setúbal.

O *outsourcing* da manutenção tem por objectivo a prestação de serviços de manutenção nos equipamentos/instalações fabris tendo como âmbito os trabalhos de manutenção até ao nível 4 da AFNOR NF X 60-010 inclusive. Esta norma Francesa classifica as acções de manutenção em cinco grandes níveis. O nível 5 corresponde aos trabalhos de renovação, de reconstrução ou a grandes reparações. Assim, incluem-se também pequenas alterações e beneficiações com o objectivo de melhorar a eficiência dos equipamentos no preço fixo acordado. Os trabalhos de manutenção de nível 5 também necessários serão eventualmente executados a preços acordados em cláusula específica. O modelo de *outsourcing* preconizado pressupõe que a Portucel Soporcel e a empresa de manutenção contratada assumam, mutuamente, uma postura de parceria na qual a primeira terá a responsabilidade de operar o processo produtivo e a segunda a de manter os equipamentos/instalações operacionais, com níveis de eficiência tempo (disponibilidade) cujos limites mínimos, a considerar, serão os actuais ou sejam, os que se verificam no início do contrato.

O contrato terá um horizonte plurianual e os resultados alcançados durante a sua vigência devem beneficiar e(ou) penalizar as partes intervenientes por forma a criar uma efectiva convergência de objectivos.

Os indicadores considerados usar no cálculo das bonificações ou das penalizações e, ainda, no acompanhamento e análise de desempenho do contrato de manutenção são:

1º - Indicadores reguladores da base contratual submetidos ao princípio de bonificação e penalização

- Disponibilidade fabril ou global do sistema produtivo;
- Eficiência ritmo do branqueamento e a disponibilidade do parque de madeiras;
- Consumo de materiais (relativos à actividade contratada).
- A segurança (das pessoas e dos bens);
- Impacto das propostas de melhoria (no processo produtivo);
- Impacto ambiental.

2º - Indicadores de seguimento e de análise do desempenho do contrato

- Disponibilidade global e por equipamento;
- Custo total da manutenção;
- Custo da manutenção por especialidade;
- Custo da manutenção por departamento;
- Custo da manutenção por unidade produzida;
- Índice de repetição do trabalho;
- Carteira de ordens de trabalho;
- MTBF (tempo médio entre falhas);
- MTTR (tempo médio de reparação);
- Relação entre os vários tipos de Manutenção;
- Higiene e segurança de trabalho – Frequência, severidade e número de acidentes;
- Protecção contra incêndios – Número de incêndios;
- Satisfação do cliente e a satisfação do pessoal;
- OEE – área piloto;
- Evolução do custo específico da disponibilidade global.

Em 2002 a estrutura da organização da manutenção da fábrica de pasta da Portucel Soporcel em Setúbal tomou a forma apresentada na figura 4.48 na sequência de um processo de reestruturação do Grupo.

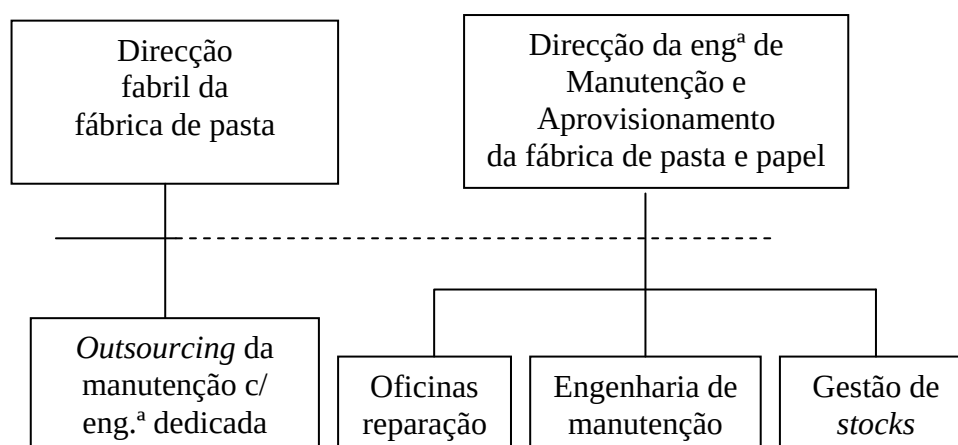


Fig. 4.48 – Estrutura da manutenção em 2002

No ano de 2003 a quantidade de profissionais da Manutenção da Portucel na fábrica de pasta para papel de Setúbal, incluídos no *outsourcing*, totalizavam cerca de 53 efectivos entre quadros médios e executantes. O número total de efectivos internos e externos eram, em 2003, cerca de 150 pessoas nas diferentes especialidades e incluindo também a engenharia dedicada do *outsourcing*.

Na linha de produção de pasta (*fiber line*) durante o período atrás referido o número diário de executantes considerados necessários para responder à execução do Plano de Manutenção (PM) correspondente às acções do tipo s022 (caracterização interna atribuída a este tipo de actividade) são quantificados na figura 4.49.

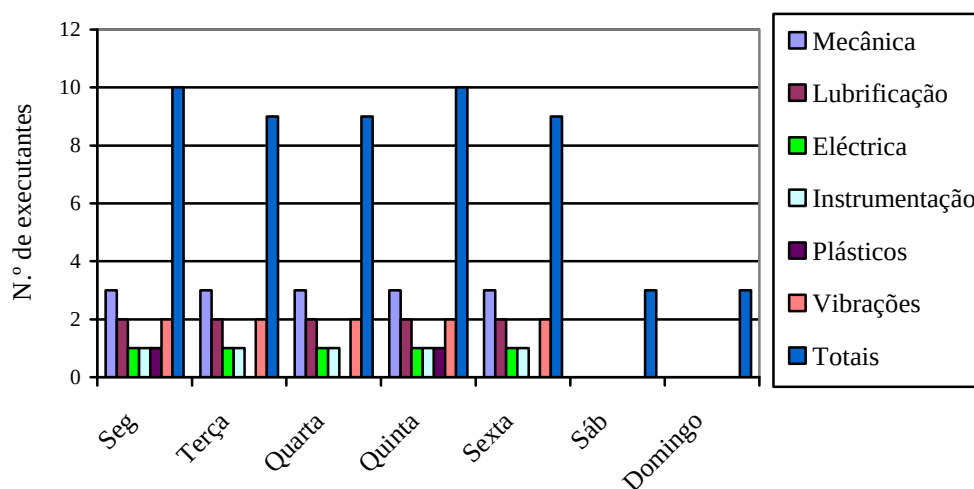


Fig. 4.49 – Número de executantes p/ acções ou tarefas tipo s022 (PM)

Como consequência da execução das Acções Sensoriais Genéricas – ASG's e das Acções de Manutenção Sistemática – AMS's ambas do tipo s022 como atrás referido resulta, por vezes, a necessidade de executar outras acções do tipo correctivo (s012) as quais carecem, também, de recursos humanos. Finalmente foi considerado o efectivo necessário para atender à chamada manutenção não programada ou reactiva do tipo s011 em consequência das falhas e avarias que ocorrem nos equipamentos.

Assim, relativamente às acções de manutenção do tipo s012 e s011 atrás referidas excluindo-se portanto as tarefas do PM (s022) foi considerado necessário pela Organização em *outsourcing* o número de executantes por cada uma das especialidades apresentado na figura 4.50.

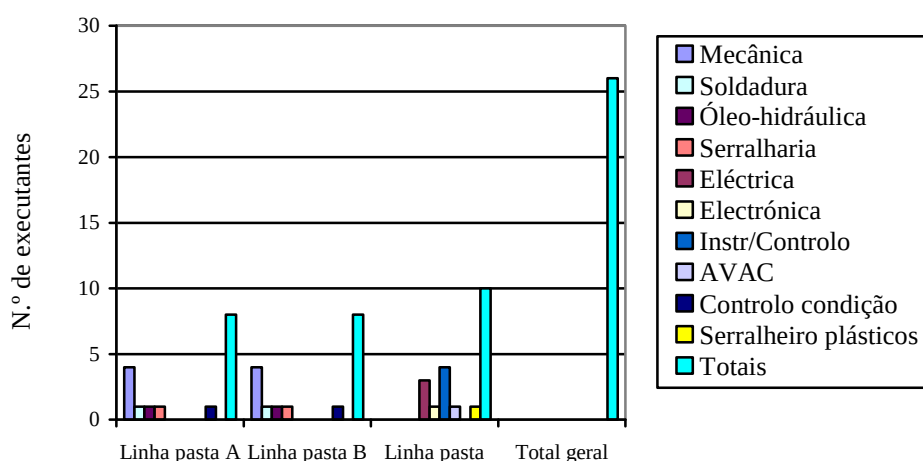


Fig. 4.50 – Número de executantes necessários p/ acções do tipo s012 e s011

Em 2004 as responsabilidades e as equipas de manutenção em regime de *outsourcing* já estavam organizadas por três áreas ou zonas operacionais:

- A área da preparação de madeiras;
- A área de produção de pasta para papel;
- A área da energia e recuperação.

Na área operacional que mais interessa analisar em particular neste trabalho ou seja a linha de produção de pasta a forma do organigrama correspondente e também semelhante às restantes áreas operacionais era a apresentado na figura 4.51.

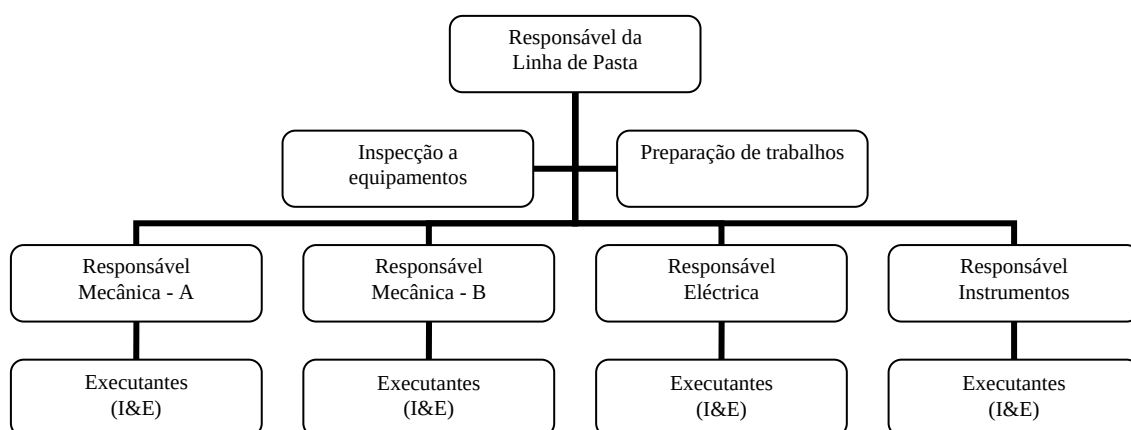


Fig. 4.51 – Organograma de 2004 da área operacional da linha de pasta (*fiber line*)

A especialidade mecânica estava dividida em duas partes a A (sml1amec) e a B (sml1bmec) e incluía também a lubrificação para além da serralharia, da soldadura e dos plásticos. A especialidade eléctrica incluía a climatização industrial (AVAC) e a electrónica.

Apresenta-se agora na tabela 4.12 os níveis de formação de base do pessoal responsável operacional dedicado à manutenção da linha de produção de pasta e o número total de executantes que chefiavam (excepto inspecção e preparação). Ao nível A corresponde à formação académica superior (15 a 17 anos), ao nível B corresponde à formação secundária (10 a 12 anos), ao nível C à escolaridade primária (4 a 6 anos) e, finalmente o nível D sem alguma escolaridade.

Tab. 4.12 – Qualificações dos responsáveis operacionais – Linha de pasta

Nível de formação	Inspeção (2)	Preparação (3)	Mecânica (2)	Eléctrica (2)	Instrumentos (1)
A	-	-	-	-	-
B	2	3	1	2	1
C	-	-	1	-	-
D	-	-	-	-	-
N.º total de executantes	(2)	(3)	20	8	5

A tabela 4.13 apresenta os níveis de formação (escolaridade) em 2004 do pessoal executante interno e externo do *outsourcing* afecto à linha de produção de pasta.

Tab. 4.13 – Qualificações dos executantes da manutenção – Linha de pasta

Nível de formação	Mecânica (20)	Eléctrica (4)	Electrónica /AVAC (4)	Instrumentos (5)
A	-	-	-	-
B	3	4	2	4
C	17	-	1	1
D	-	-	-	-
Total	20	4	3	5

Os recursos humanos internos da Portucel e os externos dedicados à fábrica de pasta não se alteraram, no essencial, com a introdução do *outsourcing*. As alterações verificadas ocorreram na criação da chamada engenharia dedicada ao *outsourcing* cuja contribuição deveria influenciar a melhoria dos métodos de manutenção, bem como a criação de um lugar com a responsabilidade da segurança das operações. O quadro 4.7 apresenta a distribuição destes profissionais de engenharia das diferentes companhias que constituíam o ACE pelas três áreas operacionais da fábrica de pasta de Setúbal.

Quadro 4.7 – Profissionais de engenharia dedicados ao *outsourcing*

Área operacional	Qualificação	Companhia
Linha de pasta	1 Eng.º electrotécnico	Siemens
	1 Eng.º de processo/mec.	Andritz
Energia & Recuperação	1 Eng.º de processo/mec.	Andritz
	1 Eng.º electrotécnico	Siemens
Parque de Madeiras	1 Técnico qualificado	Portucel
	1 Desenhador projectista	ASIP
Comum às áreas	1 Eng.º de segurança	ASIP
	Eng.ºs e técnicos temporários de acompanhamento do contrato	Andritz, Siemens e ATM

Por outro lado o *outsourcing* veio criar, por ele próprio, a necessidade de controlar os seus custos internos originando, por isso, a criação de um responsável financeiro apoiado por mais três colaboradores directos e, naturalmente, um responsável geral residente (local). Para além deste responsável local acresceu ainda um co-responsável de cada uma das companhias constituintes do *outsourcing* da manutenção.

Um relatório da análise operacional da fábrica de pasta de Setúbal encomendado em 2004 pela Direcção fabril à empresa de consultoria Jaakko Poyry reporta os resultados apresentados na figura 4.52 relativos aos custos fixos de manutenção do ano de 2003.

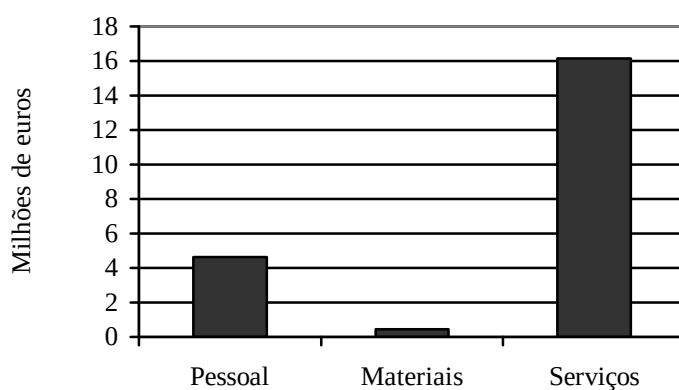


Fig. 4.52 – Custos fixos (directos) de Manutenção em 2003

Neste caso o custo directo da actividade contratada (*outsourcing*) foi em 2003 de cerca de 25,2 euros/ton de pasta e os custos totais de manutenção foram de 44,21 euros/ton com a repartição que se apresenta na figura 4.53.

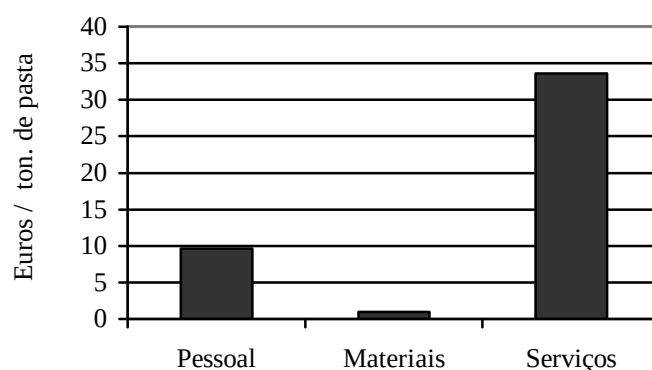


Fig. 4.53 – Custos totais de manutenção por tonelada de pasta em 2003

Finalmente apresenta-se na figura 4.54 a repartição dos custos do *outsourcing* da manutenção da linha de pasta (*fiber line*) do ano de 2004, quando se atingiu uma produção de cerca de 500000 toneladas de pasta, mas sem a inclusão dos custos respeitantes ao nível 5 da norma AFNOR atrás referida na página 218 (NF X 10-010) por exclusão do contrato de *outsourcing* de manutenção.

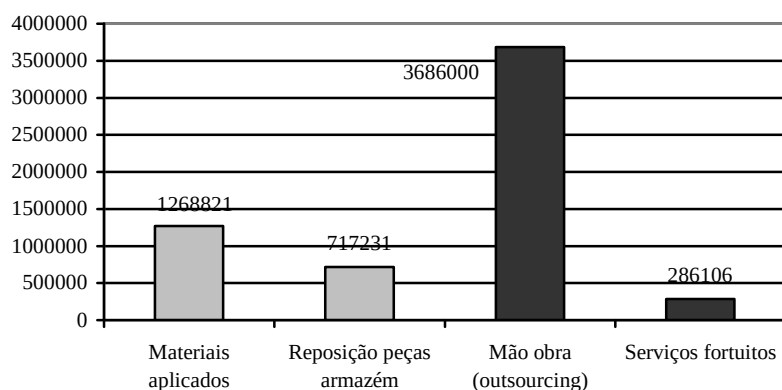


Fig. 4.54 – Custos de manutenção de 2004 da linha de pasta sem a paragem anual

Estes custos da linha de pasta relativos ao ano de 2004 corresponderam a cerca de 12 euros por tonelada de pasta produzida e em 2003 o valor orçamentado para uma produção prevista de cerca de 480000 toneladas de pasta foi de 11 euros por tonelada com a repartição apresenta na tabela 4.14.

Tab. 4.14 – Orçamento de 2003 do *outsourcing* da linha de pasta

Rubricas	Orçamento
Serviços	3758234 €
Material de stock	756000 €
Material imobilizado	818900 €
Total	5333134 €
Produção	480000 ton
Custo específico	11 €/ton

4.3 – Caracterização dos indicadores obtidos antes e durante o *outsourcing*

Em primeiro lugar referem-se as principais motivações que levaram à decisão do grupo Portucel Soporcel à opção pelo *outsourcing* da manutenção conforme apresentado na reunião de quadros que decorreu em Tróia entre 16 e 17 Fevereiro de 2001:

- A orientação da empresa para o seu *core business*;
- A racionalização do efectivo;
- A redução do elevado número de prestadores de serviços.

E por esta via pretende-se alcançar os seguintes objectivos:

- Melhorar a eficiência dos equipamentos;
- Aumentar a disponibilidade das instalações;
- Optimizar os gastos com a manutenção;
- Desenvolver novas metodologias de manutenção.

O objectivo dos serviços de manutenção a contratar destina-se a manter em condições de bom funcionamento e em bom estado de conservação os equipamentos e as instalações e também os seguintes objectivos essenciais:

- a) Optimização dos custos directos da manutenção designadamente através da melhoria contínua da utilização de recursos e da redução do consumo de peças de reserva;
- b) Minimização dos custos indirectos da manutenção designadamente através do aumento da capacidade de produção pela melhoria da eficiência global dos equipamentos, pela diminuição das perdas em consequência dos equipamentos indisponíveis ou, ainda, através do acréscimo do ritmo de produção e da qualidade dos produtos;
- c) Envolvimento da(s) empresa(s) de manutenção em modificações e melhorias de equipamentos ou instalações na fase de projecto, designadamente com o objectivo de melhorar as condições de manutenibilidade e fiabilidade;
- d) Aplicação das melhores práticas disponíveis de engenharia de manutenção e a implementação de processos de melhoria contínua.

De entre os indicadores considerados no contrato de *outsourcing* referido no subcapítulo 4.2.2 destacam-se a ineficiência tempo ou indisponibilidade dos equipamentos, a eficiência ritmo de produção, o número de paragens e a quantidade de produção. Foram também considerados indicadores que conduziam a uma eventual rescisão entre as partes. No caso da linha de pasta (*fiber line*) os valores de referência são os apresentados na tabela 4.15.

Tab. 4.15 – Valores para rescisão do contrato

Indicador	Valor de referência para a rescisão
Disponibilidade global	96,5%
Eficiência ritmo do branqueamento	96%

Assim, apresenta-se na tabela 4.16 a evolução relativa das ineficiências tempo relativas ao tempo total orçamentado ou indisponibilidade dos equipamentos das áreas fabris da linha de produção de pasta no período compreendido entre 1999 e 2004 ou seja antes e durante o *outsourcing* da manutenção.

Tabela 4.16 – Ineficiência tempo (%) da manutenção (M) e produção (P)

	1999		2000		2001		2002		2003		2004	
	M	P	M	P	M	P	M	P	M	P	M	P
DC1	3,26	0,74	3,36	0,49	2,39	0,15	1,00	0,23	0,87	0,28	1,55	0,13
DC2	1,74	0,46	1,82	0,06	0,94	0,16	0,56	0,18	0,61	0,03	0,48	0,05
Crivagem	0,21	0,19	0,75	0,41	0,15	0,06	0,14	0,25	0,46	0,62	0,55	0,27
Branq.	1,7	0,18	1,16	0,76	0,70	0,09	0,85	0,43	0,69	0,20	0,51	0,24
Tiragem	4,51	2,30	4,42	3,02	4,57	3,08	4,21	2,14	2,27	1,54	6,26	2,21
SVP	0,14	1,60	0,24	1,26	0,20	0,60	0,31	0,78	0,57	1,69	0,2	0,37

Os valores atrás apresentados dizem respeito ao tempo das paragens programadas ou não da responsabilidade da manutenção (M) e da produção (P). Os resultados das eficiências ritmo a seguir apresentados na tabela 4.17 estão afectados, directamente, pelos objectivos de produção pré-fixados (orçamentados) no início de cada ano não sendo, por isso, de interpretação directa como aos relativos às ineficiências tempo atrás apresentados.

Tabela 4.17 – Eficiência ritmo (I) e objectivo de produção (Obj)

	1999		2000		2001		2002		2003		2004	
	I	Obj	I	Obj	I	Obj	I	Obj	I	Obj	I*	Obj
DC1	0,98		0,98		0,92	1	0,99	1	1,08	0,99	1,02	1,04
DC2	0,90		0,93		0,88	1	0,96	1,02	0,96	1,04	0,9	1,02
Branq	0,97		0,99	1	0,98	1,01	1,0	1,03	0,99	1,05	0,98	1,07
Tiragem	1,06		1,02	1	1,04	1	1,09	1	1,08	1,03	1,05	1,03
SVP	0,98		1,06	1	1,08	1,01	1,03	1,1	1,04	1,1	1,02	1,2

* valores relativos ao 1º semestre

A evolução dos resultados dos principais indicadores operacionais da área do cozimento contínuo da madeira, o digestor 1 e o digestor 2, e os do branqueamento e produtos químicos (SVP) são apresentados, respectivamente, nas figuras 4.55 e 4.56.

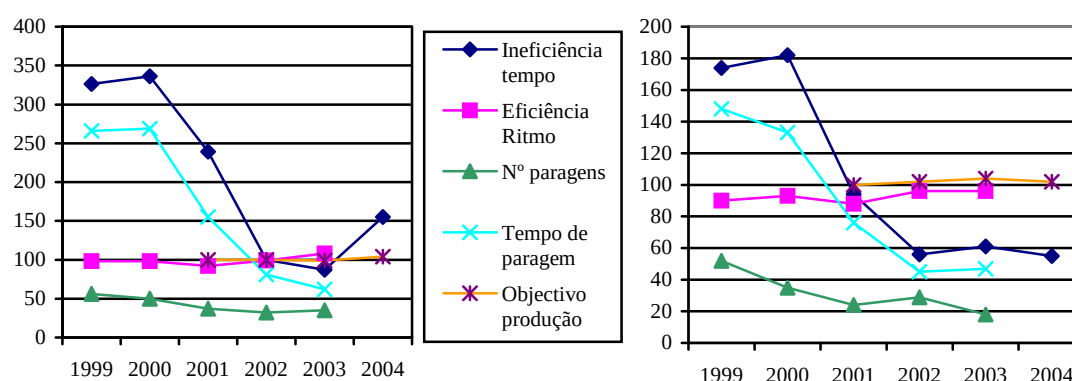


Fig. 4.55 – Indicadores operacionais do DC1 e DC2

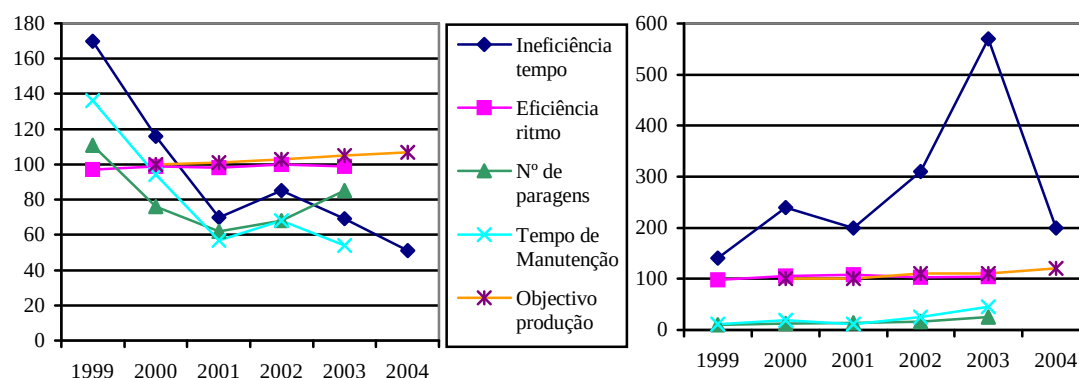


Fig. 4.56 – Indicadores operacionais do branqueamento e produtos químicos (SVP)

De referir que foi substituído em Setembro de 2001 o principal equipamento responsável pela elevada indisponibilidade do digestor1, o accionamento hidráulico do raspador de fundo, devido ao fim do ciclo de vida. Acrescenta-se, ainda, que na área do branqueamento da pasta foi instalado em série no sistema produtivo em 1998 um importante equipamento de deslinhificação.

Finalmente, apresenta-se na figura 4.57 os resultados dos indicadores operacionais referentes à tiragem de pasta para papel (produção de pasta seca)



Fig. 4.57 – Indicadores operacionais da tiragem de pasta

Por outro lado e de acordo com as boas práticas da companhia de consultoria internacional Jaakko Poyry, especialista da indústria da pasta e papel, foi ainda considerado outro indicador de comparação internacional: A eficiência de capacidade (CE). Este indicador é obtido através da relação entre a média das produções durante um determinado período de tempo e a produção máxima sustentável (MSR), normalmente 10% a menos que a produção máxima dos equipamentos durante mesmo período de tempo. Assim se obtém uma curva de duração através da ordenação temporal decrescente das produções diárias.

$$CE = \text{Média das produções} / \text{MSR}$$

Este indicador é utilizado internacionalmente como referência ao desempenho operacional (manutenção e produção) das instalações. A eficiência de capacidade (CE) da fábrica de pasta para papel da Portucel Soporcel em Setúbal foi obtida a partir da curva de duração anual com base na produção de pasta crua do cozimento.

A referida curva de duração apresenta de acordo com a figura 4.58 uma melhoria significativa face aos dois anos anteriores a 2004 com um aumento absoluto na eficiência de capacidade (CE) de 1,3 % face a 2003. Este aumento foi obtido da forma mais eficiente, i.e., pela subida da parte final da curva de duração em consequência da diminuição do número de dias de produção reduzida e não pelo aumento da produção máxima sustentada (MSR).

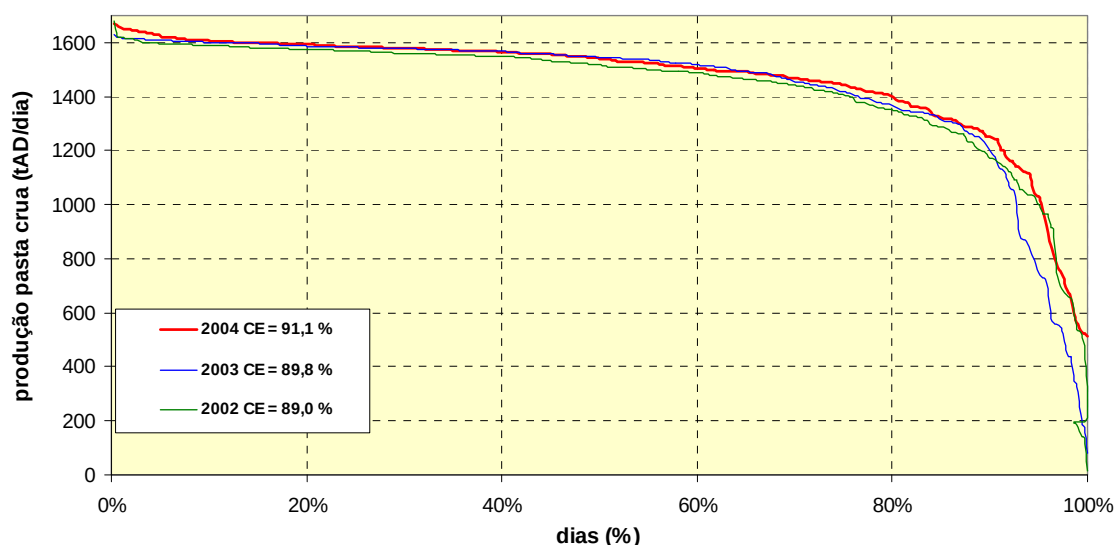


Fig. 4.58 – Evolução das curvas de duração entre 2002 e 2004

O desempenho do branqueamento no ano de 2004 reflectiu uma eficiência de capacidade (CE) ao nível de “bom” (entre 87% e 89%) de acordo com a classificação da Jakko Pöyry. Este situava-se no patamar mais elevado que se vem atingindo desde 2002 tendo correspondido a um aumento de 0,7 % face a 2003 mas também 0,8 % menos que o melhor valor obtido em 2002. Esta diferença deveu-se ao período de dois meses (Junho e Julho) em que o branqueamento teve uma redução média na produção de 3,8 tAD/h de forma a gerir a situação da indisponibilidade da torre D2 (falha catastrófica do revestimento anti-ácido no interior da referida torre). O valor de CE de 2004, excluindo o período atrás referido, foi de 88,9 % tendo sido mesmo assim superior em 0,5 % ao melhor valor obtido em 2002.

A figura 4.59 apresentada, em particular, a evolução da performance do branqueamento no que respeita à sua eficiência de capacidade (CE).

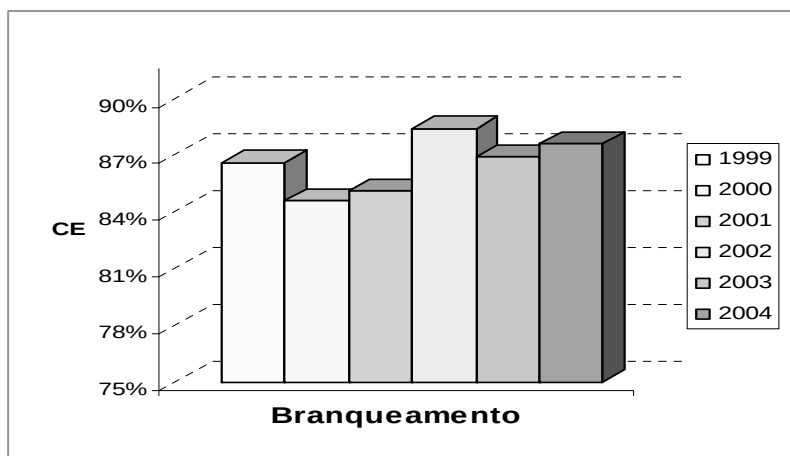


Fig. 4.59 – Evolução da eficiência de capacidade do Branqueamento

Verifica-se que a eficiência de capacidade decresceu de 1999 para 2001 e em 2002 a eficiência aumentou atingindo o seu valor máximo.

Para além dos custos de manutenção já apresentados no final do subcapítulo 4.2.2 interessa também verificar a evolução dos indicadores operacionais do branqueamento da linha de produção de pasta no que diz respeito aos tempos de paragem devidos a avarias da responsabilidade da manutenção e que provocaram o “downtime” de todos equipamentos. Estes indicadores são apresentados na figura 4.60.

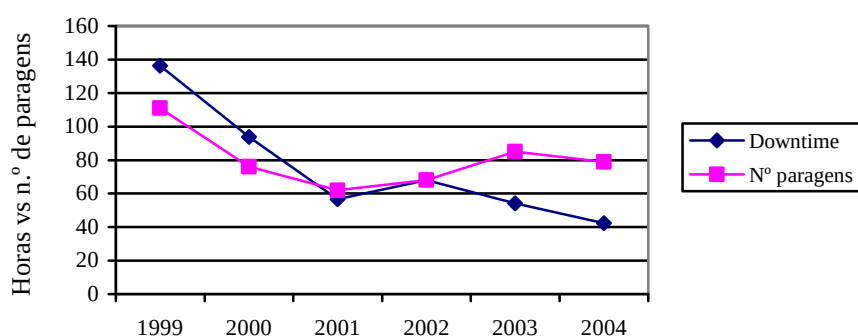


Fig. 4.60 – Número de horas e de paragens do branqueamento

Nesta perspectiva os indicadores relativos à indisponibilidade (*downtime*) evoluíram positivamente à custa do MTTR (*mean time to repair*) que se cifrou, no ano de 2004, em cerca de 0,54 horas. De referir ainda que nos últimos anos, nomeadamente entre 2000 e 2004, ocorreram entre 60 a 80 falhas funcionais que provocaram avarias e também obrigaram à paragem de todos equipamentos do branqueamento.

O número de notificações e ordens de trabalho (correspondentes a cada uma das especialidades) emitidas aos respectivos serviços de manutenção entre as 8h00 e as 17h00 do ano de 2004 são as apresentadas na tabela 4.18.

Tab. 4.18 – Notas e ordens de trabalho efectuadas para o branqueamento

Especialidades	Notas de Trabalho	Ordens de Trabalho
Horário geral (8h00-17h00)		
Mecânica	498	1330
Eléctrica	106	220
Instrumentação	228	415
Plásticos	108	60

De referir que apesar da área do branqueamento ter parado por avaria cerca de 80 vezes, durante o ano, o número médio das notificações efectuadas à manutenção devidas a falhas funcionais no horário geral de trabalho ou seja entre as 8h00 e as 17h00 foi, em 2004, cerca de 11,8 vezes o número de avarias que provocaram paragens. De notar ainda que o sistema de obras da manutenção (CMMS) da linha de pasta tem, normalmente, na situação de aguardar uma paragem entre 100 a 150 ordens de trabalho (*backlog*).

O número de paragens da área do branqueamento no ano de 2004 e respectivos tempos que lhes foram atribuídos devidas a causas internas (produção ou manutenção) nas diferentes especialidades são apresentados na tabela 4.19.

Tab. 4.19 – Atribuição dos tempos de paragens por causas internas em 2004

Especialidade	Manutenção				Produção			
	Não progra.		Programada		Não progra.		Programada	
Produção	-	-	-	-	47	18,33	1	2,0
Mecânica	39	23,9	-	-	-	-	-	-
Eléctrica	35	13,7	-	-	-	-	-	-
Instrumentos	5	3,95	-	-	-	-	-	-
Sistemas	(3)	0,33	-	-	-	-	-	-
Totais	82	41,88			47	18,33	1	2,0

A tabela 4.20 apresenta as paragens atribuídas por causas internas e os respectivos tempos de paragem durante o ano de 2003.

Tab. 4.20 – Atribuição dos tempos de paragem por causas internas em 2003

Especialidade	Manutenção				Produção			
	Não progra.		Programada		Não progra.		Programada	
Produção	-	-	-	-	75	14,83	1	0,08
Mecânica	32	24,0	-	-	-	-	-	-
Eléctrica	30	18,4	-	-	-	-	-	-
Instrumentos	16	8,35	-	-	-	-	-	-
Sistemas	(2)	1,4	-	-	-	-	-	-
	78	52,2			75	14,83	1	0,08

No ano de 2003 ocorreram duas paragens na deslinhificação associadas ao branqueamento no domínio da óleo-hidráulica que, só por si, consumiram cerca de 11,2 horas. Em relação aos resultados apresentados na tabela 4.21 relativos às paragens do branqueamento devidas a causas externas estas são substancialmente significativas em comparação com os tempos em consequências das causas internas atrás apresentadas.

Tab. 4.21 – Paragens do branqueamento por causas externas

Causas	2004				2003			
	Não progra.		Programada		Não progra.		Programada	
Falta de pasta	13	26,8	-	-	17	49,8	-	-
Sistema cheio	2	4,3	1	8,3	1	5,58	-	-
Falta de energia	28	123,8	1	21,0	57	292,7	2	6,4
Falta de vapor	-	-	4	24,0	1	-	-	-
Falta de reagentes	-	-	-	-	11	91,5	-	-
Falta ar instrum. ^{tos}	-	-	-	-	2	0,42	-	-
Falta líq. lavagem	-	-	-	-	3	1,3	-	-
Outras	4	13,7	-	-	8	49,5	4	73,8
Paragem anual e(ou) comerciais	-	-	9	206,0	-	-	8	182,6
Totais	47	168,6	15	259,3	100	490,8	14	262,8

4.4 – Análise e comentários ao contexto operacional

A actual fábrica de pasta para papel da Portucel Soporcel em Setúbal, anteriormente designada por Socel – Sociedade Industrial de Celulose, SARL, foi projectada em 1959 para uma capacidade nominal de 90000 toneladas/ano tendo a fábrica arrancado em Janeiro de 1964. Em 1979 concretizou-se o projecto de ampliação para 240000 toneladas/ano de pasta para papel tendo e em 1989, após a concretização de uma importante racionalização/expansão a capacidade passou para 360000 toneladas/ano. Mais recentemente em 1998 através de investimentos em equipamento específico a produção atingiu o valor de 420000 toneladas de pasta para papel, em 2004 atingiu-se as 500000 toneladas e já em 2005 foram alcançadas 510000 toneladas de pasta produzida. Pela análise da evolução das produções apresentadas na figura 4.61 são claramente identificados os períodos de investimento atrás referidos e o período mais recente que coincide com o início do *outsourcing* da manutenção.

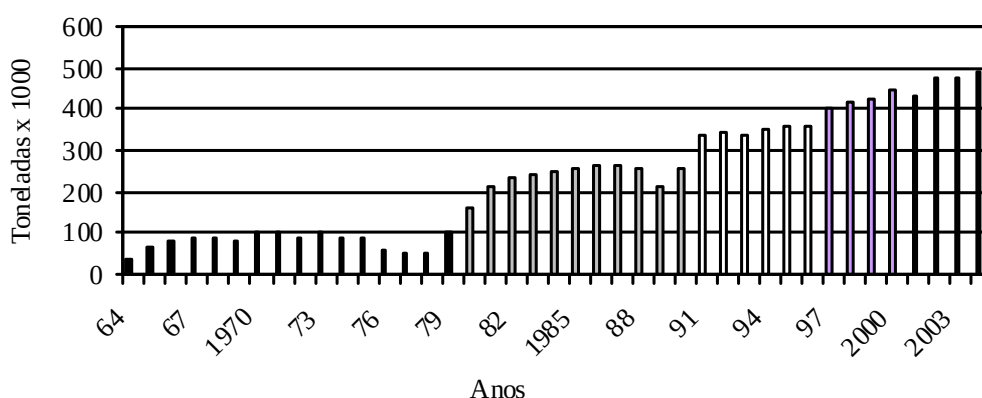


Fig. 4.61 – Toneladas de pasta produzidas (x1000)

Entre 1998 a 2003 a fábrica de pasta de Setúbal sofreu algumas alterações com vista à redução dos consumos dos químicos usados no processo e reduzir também a quantidade de água necessária por cada tonelada de pasta produzida.

Neste tipo de indústria pretende-se uma elevada disponibilidade para produzir tanto quanto possível (efeito de escala) pelo que o ideal poderá ser a adopção de um modelo de manutenção que permita intervir nos equipamentos imediatamente antes de ocorrerem as avarias, as paragens dos equipamentos e das instalações.

Assim, evita-se desperdiçar a vida restantes dos equipamentos por se actuar demasiado cedo ou deteriorá-los por se actuar demasiado tarde. A essência da manutenção proactiva radica na combinação da informação de carácter estatístico que está por detrás da criação dos planos de manutenção adequados e na informação actual que resulta do conhecimento da condição dos equipamentos que pode justificar a antecipação ou o atraso das intervenções programadas nos equipamentos. Com a incorporação do factor custo o problema modifica-se; o objectivo deixa de ser apenas maximizar a disponibilidade e passa a ser, também, a minimização do custo do ciclo de vida tão baixo quanto possível obrigando a equacionar os custos de manutenção nas paragens e da não produção.

No caso em estudo verificou-se que a partir do ano de 2002 os custos totais de manutenção aumentaram após a reestruturação organizacional da manutenção e a introdução do *outsourcing* verificando-se, no entanto, a melhoria da disponibilidade das instalações. Apesar de algumas diferenças em relação aos dados recolhidos todos os resultados confirmam com segurança que os custos directos de manutenção aumentaram a partir do ano 2002 e que a disponibilidade global ou eficiência tempo, no caso da linha de pasta, aumentou de 0,94 em 2001 para cerca de 0,97 em 2003.

A análise dos dados e em termos de balanço pode-se afirmar que as expectativas criadas através da introdução do *outsourcing* da manutenção, na fábrica de pasta de Setúbal, não foram totalmente atingidas pois, de facto, os resultados globais esperados não foram conseguidos e verificaram-se, até, resultados manifestamente insuficientes. Os aspectos positivos encontrados relativamente aos pressupostos do contrato referido no subcapítulo 4.2.2 foram:

- Aumento da disponibilidade global que se situou em cerca de 0,97 (diminuição da ineficiência tempo) das instalações relativas à linha de pasta (salvo excepções) através da diminuição do número de avarias com paragem e portanto nestas circunstâncias o MTBF (tempo médio entre avarias) aumentou;
- A eficiência ritmo das instalações melhorou globalmente também com a contribuição da Produção;
- Os cuidados com segurança das pessoas e dos bens, bem como os relativos ao ambiente melhoraram;

- O MTTR (tempo médio de reparação) pelo menos manteve os níveis esperados, através de um mais correcto planeamento da actividade da manutenção que pode em nossa opinião pode ainda ser melhorado;
- Apesar dos Planos de Manutenção existentes terem sido revistos através do esforço da engenharia dedicada do *outsourcing* eles continuam, ainda, desadequados sob o ponto de vista da sua eficiência e de eficácia da actividade da manutenção tanto nas chamadas rotinas proativas como, relativamente, aos aspectos do cadastro (identificação) das peças dos equipamentos e política(s) de gestão de peças ou equipamentos (como por exemplo os designados por rotáveis).

Os aspectos considerados insuficientes relativamente às expectativas do contrato foram:

- O aumento dos custos totais directos de manutenção. Cerca de 25,2 euros por tonelada de pasta e um total de custo de manutenção de 44,2 euros por tonelada;
- Os custos relativos ao nível 5 da AFNOR corresponderam a cerca de 57% dos custos totais de Manutenção (situação que, supostamente, não devia ser esperada pelo contratante);
- A estagnação em termos de produtividade dos recursos da manutenção;
- Maiores dificuldades nas interligações organizacionais no seio do contratante e entre o contratante e o contratado, nomeadamente quanto à informação e à comunicação;
- Insuficiente impacto das esperadas melhorias de processos de manutenção bem como no sistema produtivo;
- A ausência da implementação prática de filosofias assumidas seguir entre as partes: o RCM (manutenção centrada na fiabilidade) e o TPM (manutenção produtiva total) ou, em substituição destas, outra(s) filosofia(s);
- As instalações no que diz respeito aos aspectos não directamente ligados com a avaliação do seu desempenho produtivo e do contrato, nomeadamente a conservação dos edifícios, as estruturas metálicas, tubagens, condutas de efluentes líquidos, algum equipamento de regulação e controlo e, ainda, as próprias instalações de apoio local da manutenção não melhoraram sob o ponto de vista do seu estado de manutenção (conservação);
- O nível de conhecimento, qualificação e o treino, principalmente dos executantes dos serviços da manutenção não melhorou significativamente como poderia ser esperado com a introdução do *outsourcing*.

A interpretação dos aspectos considerados insuficientes, já referidos por Canuto (2004) no âmbito deste trabalho, pode ser caracterizada pelas seguintes razões:

- 1) A organização das partes contratante e contratada não estavam devidamente interligadas e adequadas de forma a traduzirem-se em acréscimos de sinergias;
- 2) O contrato de *outsourcing* baseado em níveis de manutenção (até ao nível 4.º da AFNOR) não respondeu, totalmente, às necessidades do estado actual das instalações e equipamentos razão pela qual este apenas representou em 2003 cerca de 43% dos custos totais de manutenção.

A propósito da razão 2) atrás referida apresenta-se na figura 4.62 os níveis de manutenção contratados e os que foram da responsabilidade do contratante.

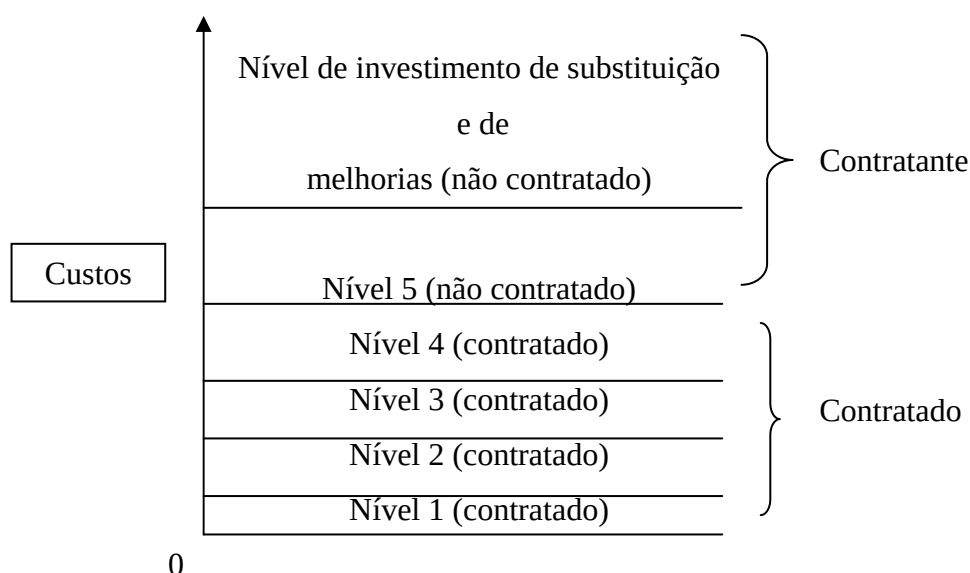


Fig. 4.62 – Níveis de manutenção segundo a AFNOR

Para instalações industriais em exploração à bastantes anos, como é o caso, e comparativamente a outras instalações mais recentes na mesma actividade verifica-se que os níveis de manutenção com maior significado em termos de custo são os correspondentes ao nível 5 da referida norma e os de melhoria ou investimento. Este facto pode sempre ocorrer quando os equipamentos (principalmente os mais sujeitos a modos de falha associados ao desgaste) não estejam muito longe do final da vida útil (ciclo de vida) ou por se encontrarem tecnologicamente desactualizados.

Pelas razões atrás referidas os níveis de manutenção contratados podem, em alguns casos, corresponder a uma sobre-manutenção ou a uma sob-manutenção como é o caso por exemplo de situações já referidas no subcapítulo 4.1.3 verificadas nas tubagens, em alguns equipamentos de bombagem, nos equipamentos de regulação e de controlo, em vários equipamentos de tecnologia já ultrapassada, nos quadros eléctricos e nos equipamentos (dispositivos) de campo.

- 3) Os custos relativos aos serviços (aumentou o número de trabalhadores através dos prestadores de serviços) e ao consumo de materiais aumentaram.
- 4) Os custos de coordenação revelam-se mais elevados devido ao contratante ter de controlar o desempenho do contratado e por sua vez este também necessitar de meios específicos na sua organização só dedicados ao seu próprio controlo.

Finalmente, deve ser ainda referido que no ano de 2003 os custos totais de manutenção relativamente às vendas de pasta se situaram entre 9% e 10%. Este valor pode ser considerado excessivo comparado com o compreendido entre 5% e 7% típicos da actividade química. Por outro lado este indicador pode também indiciar que é necessário um maior esforço em termos do custo de manutenção em função da idade dos equipamentos, do estado das instalações ou dos riscos de avaria para, assim, se melhorar e manter a fiabilidade operacional requerida.

4.5 – Caracterização organizacional do processo de manutenção em 2006

Após uma auditoria à actividade da manutenção, ao aprovisionamento e aos projectos industriais concluiu a Comissão Executiva do grupo Portucel Soporcel poderem estar ao alcance do grupo nos domínios atrás referidos significativas reduções de custos fixos; do aumento de sinergias; de melhorias de eficiência e a redução dos recursos utilizados na actividade. Assim, de acordo com o comunicado de 24.10.05 da Comissão Executiva foi necessário acabar com o sistema de *outsourcing* da manutenção das fábricas de pasta incluindo também a de Setúbal ainda em vigor em 2005 e criar uma Direcção Central de Engenharia que coordenará as actividades operacionais da manutenção, da engenharia de manutenção, do aprovisionamento e gestão de stocks de materiais e, também, dos projectos industriais.

Tendo em consideração as oportunidades da conjugação de sinergias entre as diferentes unidades de produção de pasta e papel em Portugal do grupo Portucel Soporcel, ou sejam, as unidades da Figueira da Foz, de Cacia e de Setúbal foi implementada dentro do grupo em 2006 uma nova estratégia de manutenção e uma reorganização das actividades de manutenção, aprovisionamento e projectos para aquelas três unidades atrás referidas. A figura 4.63 apresenta a configuração do organigrama implementado em 2006 vindo assim substituir o esquema apresentado na página 220 do subcapítulo 4.2.2 que suportava o *outsourcing* da manutenção.

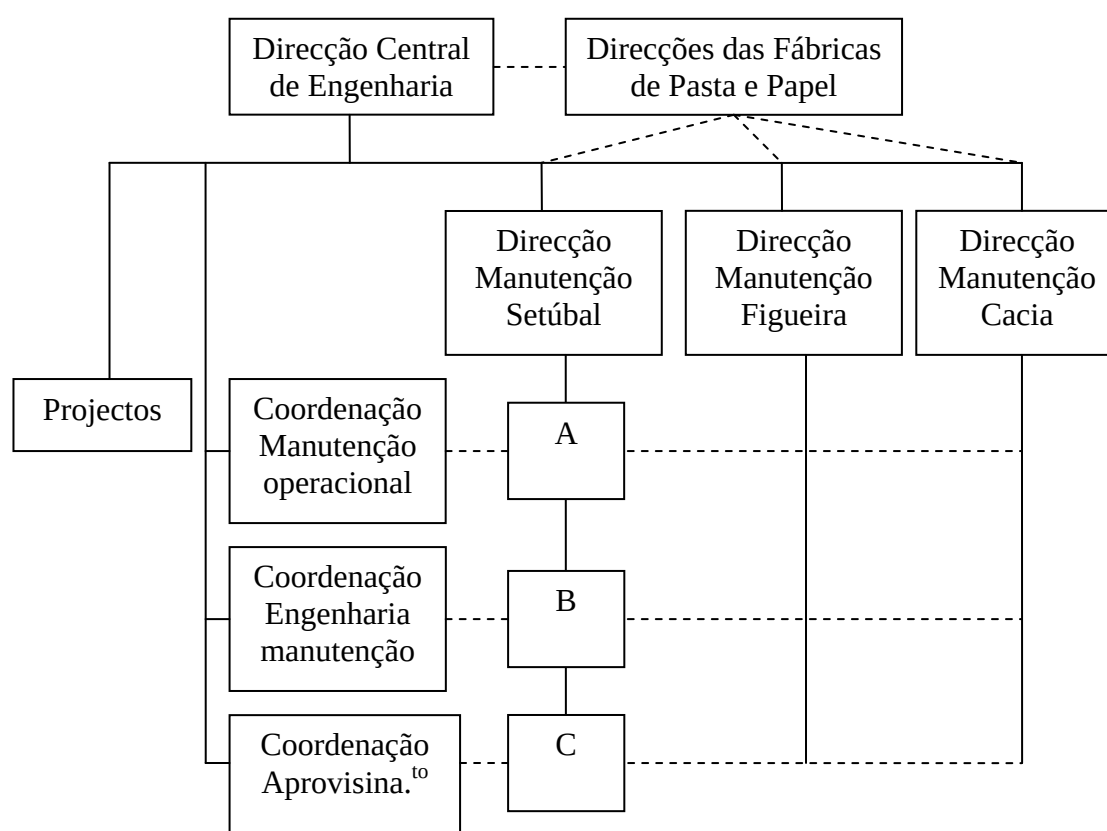


Fig. 4.63 – Organigrama da direcção central de engenharia

Na figura 4.63 representa-se, respectivamente, por A, B e C a chamada “realização/execução local” (pasta e papel) e a “oficina de apoio”, a “engenharia de manutenção” e o “aprovisionamento” de materiais e serviços. Assim, o modelo de manutenção e a sua gestão assenta na maximização e na captação de sinergias dos recursos internos da organização, com o suporte de contratos mais específicos com prestadores de serviços, que se enquadram numa empresa de manutenção do grupo Portucel Soporcel criada para o efeito.

4.6 – Conclusões

Independentemente da forma como a gestão de topo enquadra na sua estratégia empresarial a gestão dos processos de manutenção, particularmente nos processos de produção contínua, seja através do recurso ao *outsourcing* com objectivos e contrato(s) bastante envolventes chegando mesmo ao parceria, seja por contratos de manutenção mais específicos, existem dois factores fundamentais sem os quais qualquer estratégia pode ficar irremediavelmente abalada. Esses factores são:

- Os factores humanos;
- Os sistemas de informação e comunicação.

Estando garantidos estes factores e associando-os a um modelo flexível de organização optimizada designado no subcapítulo 1.7.3 por *bestsourcing* com atribuições claras de responsabilidades e incentivos não existirão, à partida, razões de insucesso quanto aos resultados que se pretendem atingir.

Para optimizar a função da manutenção para a melhoria da fiabilidade dos equipamentos e para a correcta gestão das equipas (produtividade) é necessário antes de mais conhecer, em tempo, a condição do funcionamento dos equipamentos e(ou) sistemas para a correcta avaliação dos riscos das avarias e, por esta via, gerir adequadamente as equipas de manutenção e materiais usados. As funções de engenharia associadas à I&D, a preparação e os métodos de trabalho (operações) e, ainda, o planeamento e a programação são as ferramentas que a manutenção dispõe para a criação de valor para a Organização. Os modelos parciais apresentados no capítulo 3 enquadram-se numa perspectiva de criação de valor para a Organização e em particular para a produção (neste contexto esta deve ser entendida como o cliente da manutenção). Os modelos assentam, como se viu, nos fluxos de informação disponíveis. Ou seja, nas notas de avaria (notificações), nas ordens de trabalho de manutenção e nos custos tendo sempre como referencial o conhecimento, o histórico e os parâmetros de fiabilidade do equipamento entretanto determinados. A implementação prática experimental dos modelos parciais usados na área do branqueamento e na linha da pasta da fábrica da Portucel Soporcel em Setúbal, bem como a validação dos resultados obtidos são apresentados em seguida no capítulo 5.

5 – Os dados e os resultados da aplicação dos modelos parciais usados

Neste capítulo descreve-se a em primeiro lugar a forma de obtenção dos dados para a aplicação dos modelos dos riscos proporcionais, das filas de espera e dos custos através das oportunidades de subcontratação. Em seguida apresentam-se os resultados obtidos. Um dos modelos é aplicado na área do branqueamento a um conjunto de diferentes famílias de equipamentos estáticos, rotativos e lineares representativos do processo produtivo da pasta. Os outros modelos são aplicados aos pedidos de reparação dos equipamentos também na linha de pasta (*fiber line*) do caso em estudo da fábrica da Portucel Soporcel de Setúbal.

5.1 – Introdução e objectivos

Os objectivos a alcançar prendem-se com a determinação dos factores que mais influenciam a causa das avarias das diferentes famílias de equipamentos e ao mesmo tempo dimensionar as equipas de reparação necessárias a cada um dos serviços de manutenção para o atendimento dos pedidos de reparação pelo menor custo. Assim, para reduzir o risco das avarias determinam-se as acções (medidas) com maior valor acrescentado no controlo da condição e inspecção aos equipamentos dirigidas à(s) causa(s) significativas encontradas e como consequência dessas acções melhora-se a produtividade das equipas internas e externas e os custos de manutenção.

Esta melhoria esperada com reflexos na taxa de avarias é também devida ao acréscimo dos conhecimentos dos recursos da operação (condução dos equipamentos) e das competências entretanto adquiridas pelos recursos dos serviços de manutenção e às políticas e práticas mais adequadas sobre cada família de equipamentos.

A recolha dos dados em boa parte obtida através do CMMS da manutenção o SAP/R3 (módulos PM e MM), os resultados obtidos e a sua validação decorreram, respectivamente, entre 2004 e 2005 no regime de *outsourcing* da manutenção e durante o período de 2006 até ao 1º semestre de 2007 durante os quais foram necessários utilizar recursos operacionais internos da manutenção e da produção (condução) da linha de pasta (*fiber line*). Para o tratamento dos dados obtidos com vista ao desenvolvimento da investigação e à obtenção dos resultados foram também usados *software(s)* dedicado(s)

de acesso directo e sem custos através da Internet para a aplicação da análise da sobrevivência (PHM) e das filas M/M/s (QM). Faz-se referência ao aspecto atrás referido de “sem custos” dos sistemas para o tratamento de dados porque os custos são uma das razões muitas vezes evocadas pelos responsáveis operacionais para a não utilização de modelos com base científica.

Assim, o objectivo deste capítulo é conjugar em simultâneo o conhecimento dos factores de risco e os intervalos de tempo segundo os quais os componentes dos equipamentos falham ou avariam e adequar o dimensionamento e os tipos de tarefas a realizar pelas equipas de trabalho (internas e externas). Também a adequação das periodicidades das tarefas dos serviços de manutenção sobre os equipamentos às do plano de produção recorrendo, se necessário, à chamada reparação imperfeita (*bad as old*) é um aspecto considerado e, posteriormente, em oportunidade, é reposta a condição requerida para o equipamento (*good as new*) pelo menor custo.

Neste capítulo para além da sua introdução da reíteração dos objectivos do trabalho descrevem-se no subcapítulo 5.2 os equipamentos, as covariáveis, a contagem dos tempos de funcionamento, os meios e a forma de obtenção dos dados para a aplicação do modelo PHM. Finalmente no subcapítulo 5.2.7 são apresentados os dados obtidos. Ao longo do subcapítulo 5.3, para além de se fazer o seu enquadramento com vista à aplicação do modelo QM baseado nas filas de espera do tipo M/M/s, apresentam-se os pressupostos da sua aplicação no que diz respeito à caracterização das chegadas dos pedidos de reparação e ao seu atendimento. No subcapítulo 5.4 descreve-se os dados para a aplicação do modelo de subcontratação para a minimização dos custos. No subcapítulo 5.5 sintetizam-se os dados e apresentam-se os resultados obtidos através da integração dos modelos parciais usados. Nos subcapítulos 5.6.1 e 5.6.2 faz-se respectivamente a validação dos resultados e uma breve análise aos mesmos.

Finalmente, no subcapítulo 5.6.3 referem-se as principais dificuldades encontradas no decorrer do presente trabalho, as quais eram no entanto já esperadas principalmente por este se desenrolar num ambiente real, mas que se justificam plenamente no capítulo 7 quando se salienta a contribuição positiva alcançada com os resultados do presente trabalho na inovação incremental dos processos da gestão operacional da manutenção industrial.

5.2 – Os dados observados para o modelo dos riscos proporcionais (PHM)

5.2.1 - Enquadramento

Nesta parte do trabalho apresentam-se os dados relacionados com modos de falha e que directa ou indirectamente se esperam relacionar com a fiabilidade operacional dos equipamentos produtivos a estudar através do modelo dos riscos proporcionais. O modelo já atrás apresentado é uma técnica semi-paramétrica que utilizando uma função de risco log-linear é aplicada em engenharia para deduzir os efeitos que determinados factores poderão ter na fiabilidade dos equipamentos. Estes factores são designados por covariáveis e podem representar situações ou parâmetros intrínsecos do material ou, então, parâmetros exteriores que podem ser contínuos representando valores medidos e relacionados com o funcionamento dos sistemas em estudo ou discretos (os usados neste trabalho) representando a presença ou a ausência de um certo factor.

Considerando as características do contexto operacional apresentadas no subcapítulo 4.1 e as falhas e as avarias funcionais apresentadas em 4.1.1 estas têm, à partida, origem em modos de falha mecânicos tais como o desgaste, a corrosão e a vedação; em modos de falha do isolamento eléctrico e defeitos nos contactos ou, ainda, relacionados com o modo operativo do processo produtivo. Identificados genericamente no subcapítulo 4.1.4 os equipamentos a estudar interessa agora apresentá-los individualmente e caracterizar para cada um as principais covariáveis responsáveis pelo risco de avaria não se assumindo, à partida, quaisquer limitações ou restrições paramétricas.

De entre as várias covariáveis seleccionadas para a caracterização do risco de avaria e portanto da variabilidade da fiabilidade operacional dos equipamentos referem-se também como relevantes, no contexto operacional em estudo, os estados extremos das variações de carga dos equipamentos nas situações de arranque e nas situações de paragem. Assim, são apresentadas em particular as datas destas ocorrências ou as variações significativas do seu modo operativo. Por outro lado é também considerado relevante a política e os consequentes tipos de manutenção preventiva, correctiva, curativa ou sob-condição referidos no subcapítulo 1.4.1 a que cada um dos equipamentos está, ou não, submetido.

Para a correcta obtenção dos dados respeitantes às covariáveis consideradas foi necessário, durante os meses de Agosto e Setembro de 2005, informar e instruir os supervisores (encarregados) e os executantes dos serviços de manutenção intervenientes na área do branqueamento acerca dos objectivos a atingir com o presente trabalho de fiabilidade. Para isso foram apresentados os principais equipamentos a estudar bem como os modos de falha a eles associados e as covariáveis a observar e as grandezas a registar antes e depois dos equipamentos avariarem.

5.2.2 – As famílias dos equipamentos em estudo

Faz-se um agrupamento dos equipamentos estáticos e rotativos por famílias e as funções que desempenham no sistema e consideram-se os componentes que mais afectam a disponibilidade dos equipamentos sob o ponto de vista da sua fiabilidade de acordo com os dados apresentados no subcapítulo 4.1.3. Esta distinção entre equipamentos estáticos e rotativos e, por outro lado, a respectiva repartição em estáticos de condução e de vedação, os de indicação, os de alimentação e de comando, os de regulação e os de movimento linear, deve-se ao facto de não se ter verificado (no caso em estudo) existir metodologias técnicas sobre estas famílias de equipamentos que possam corresponder às consideradas melhores práticas de gestão de equipamentos e simultâneamente conducentes à melhoria da fiabilidade operacional pelo menor custo.

Na realidade verifica-se genericamente na prática industrial que os equipamentos rotativos estão sujeitos a programas de controlo de condição sem a paragem dos equipamentos através de metodologias específicas e, pelo contrário, nos equipamentos estáticos tal facto não se verifica excepto, por exemplo, no caso das gavetas (celas) eléctricas e nos equipamentos sob pressão. Deste facto deriva, tal como verificado no subcapítulo 4.1.3, que os equipamentos estáticos dos processos de produção contínua como o da produção de pasta para papel afectam a fiabilidade e a disponibilidade operacionais acarretando, em primeiro lugar, elevados custos de manutenção imperfeita referida por Pham e Wang (1996) e, em segundo lugar, custos de substituição sem que para isso tenha ocorrido uma correcta preparação e planeamento de recursos Humanos e materiais. Assim, apresenta-se no quadro 5.1 os equipamentos a estudar referenciados na figura 4.6 e as respectivas famílias e funções sobre os quais se vai aplicar o modelo proposto.

Quadro 5.1 – A classificação das famílias dos equipamentos em estudo

Equipamento	Ref. ^{as} da fig. 4.6	Família do tipo ... (função)	Componentes (órgãos)
Uniões flangeadas	6, 7, 8 e 10	Estático de condução e vedação	Juntas de vedação
Tubagens	6,7, 8 e 10	“	Tubo
Instrumento(s) em linha	7	Estático de indicação	Elemento primário e transmissor
Celas (arrancadores) de alimentação eléctrica	4	Estático de alimentação e comando	Contactos, relés, seccionador c/ fusível e cabos
Válvulas (automáticas)	8 e 10	Estático de regulação	Obturador/sedes e posicionador
Actuadores	8 e 10	Estático de movimento linear	Camisa, êmbolo e articulações
Cilindros óleo-hidráulicos	9	“	Vedante(s)
Motores óleo-hidráulicos	-	Rotativo de movimento linear e rotativo	Êmbolos, cames e camisas
Bombas hidráulicas (centrífugas)	4	Rotativo	Rolamentos e vedantes
Variadores (redutores) de velocidade	4	“	Engrenagens e rolamentos
Motores eléctricos	4	“	Bobinagem e rolamentos

5.2.2.1 – A família dos equipamentos estáticos e lineares

São considerados como equipamentos estáticos todos aqueles que de uma forma geral foram concebidos para desempenhar a sua função no processo produtivo sem que se para isso sejam necessários movimentos relativos entre os seus componentes.

São exemplos os equipamentos com a função de contenção, de condução, de vedação, de medição em linha, de alimentação e condução eléctrica, de transmissão de sinal e de comando, etc. Nesta família de equipamentos incluem-se os tanques, as tubagens e os seus componentes de inter-ligação, a maior parte da instrumentação de medição e controlo do processo, os quadros de alimentação eléctrica, os sensores e transmissores, as partes estruturais dos equipamentos, etc. As técnicas não destrutivas mais usadas para a inspecção e a avaliação da condição dos equipamentos (não necessariamente dos componentes) relacionam-se, normalmente, com a medição de espessuras, a detecção de fissuras, a detecção de pontos quentes, a calibração, a medição de isolamento e só podem ser usadas, em muito casos, com o equipamento parado e devidamente consignado.

As famílias dos equipamentos referidos são, na maior parte dos casos, recuperáveis após as falhas (avarias) durante a sua vida útil contrariamente a muitos dos seus componentes (por impossibilidade técnica; pelo seu valor ou ainda pelo tempo da recuperação) a exemplo das juntas de vedação usadas nas uniões flangeadas das tubagens; dos contactos dos contactores eléctricos; das membranas dos sensores de nível ou de pressão; dos relés de comando; dos retentores e dos vedantes de fluidos; dos detectores de posição, etc. Assim, torna-se desejável na maior parte dos casos a substituição do componente antes de avariar mas, para isso, é também normalmente necessária a paragem do processo produtivo o que acarreta a indisponibilidade inerente de todos os equipamentos em série. Os principais modos de falha para a família dos equipamentos referidos estão associados, normalmente, ao desgaste como no caso dos componentes dos equipamentos mecânicos e de alguns dispositivos de instrumentação em linha; à quantidade de manobras (ciclos de funcionamento); à resistência de isolamento como no caso dos componentes dos equipamentos de alimentação eléctrica e associados ainda a falhas devidas à vibração e à transformação dos sinais (por exemplo maus contactos) como é o caso dos equipamentos de medida do controlo do processo.

Na maior parte dos casos o valor monetário destes componentes comparativamente com o valor dos equipamentos é de dezenas a centenas (ou milhares) de vezes menor mas podem provocar custos, devido a avaria, pelo menos da mesma ordem de grandeza que o valor desses equipamentos onde estão instalados acrescidos, ainda, do valor da perda de produção devido à sua indisponibilidade total ou parcial.

– Apresentam-se os principais aspectos a considerar na uniões flangeadas e das tubagens:

Vão ser estudadas especialmente as falhas por vedação que têm como consequência as chamadas fugas de fluidos como se apresenta na figura 5.1 referentes as uniões flangeadas e às tubagens do processo produtivo. As uniões são constituídas por juntas (anéis circulares) de cartão ou em material sintético apertadas, normalmente, entre duas flanges através de parafusos e fazem parte integrante da tubagem de condução dos fluidos do processo.



Fig. 5.1 – Fuga de fluido por falha de vedação

Os principais modos de falha associados às falhas por vedação, partindo do princípio que os materiais são os adequados para a utilização em causa, são a fixação (aperto), o alinhamento, a vibração, a erosão e o choque.

Na área do branqueamento são usadas tubagens em titâneo, aço inoxidável e em polyester (FRP) reforçado existindo um elevado número de uniões flangeadas para permitir a interligação entre tubagens ou para a instalação das válvulas da regulação do processo e aparelhos de medida instalados em linha. A qualidade dos materiais a usar nas tubagens depende do tipo e das características dos fluídos a conter e a conduzir, pelo que quanto maior for a agressividade a exemplo do PH e a temperatura desses fluidos maior resistência deverá ter o material a fenómenos de degradação tal como o *stress corrosion* (corrosão sob tensão).

A figura 5.2 apresenta esquematicamente os componentes constituintes de uma tubagem ligada através de união flangeada onde se evidencia uma fuga de fluido.

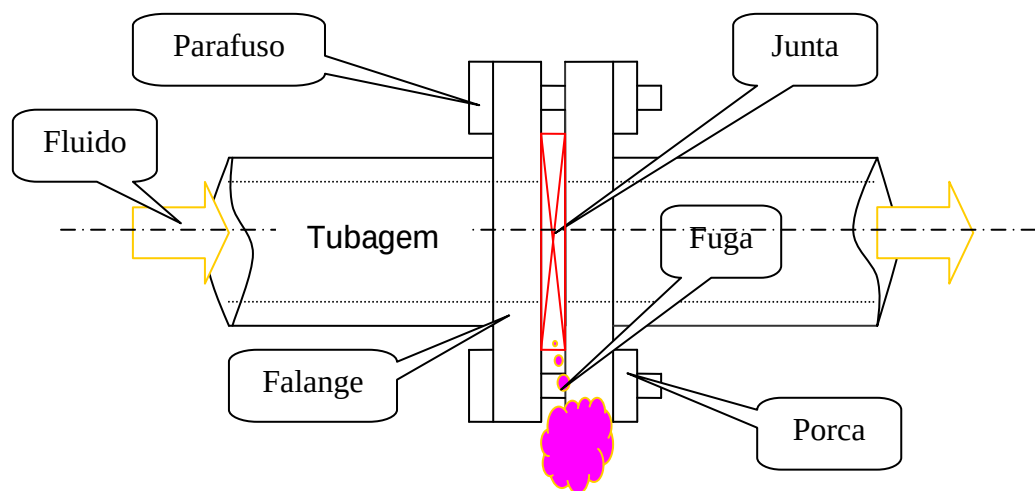


Fig. 5.2 – Representação esquemática de uma falha de vedação

Tal como já referido o componente identificado por junta é, conjuntamente com o aperto dado pelos parafusos, o responsável pela vedação do fluido que é conduzido através da tubagem tratando-se, normalmente, de um elemento não recuperável. A este respeito deve ser referido que na fábrica de pasta da Portucel Soporcel em Setúbal a substituição destes componentes ocorrem após a falha de vedação (avaria), tal como aconteceu no caso apresentado na figura 5.3, o que pode provocar elevados riscos e graves problemas ambientais para além da indisponibilidade do(s) equipamento(s) e as respectivas perdas de produção.

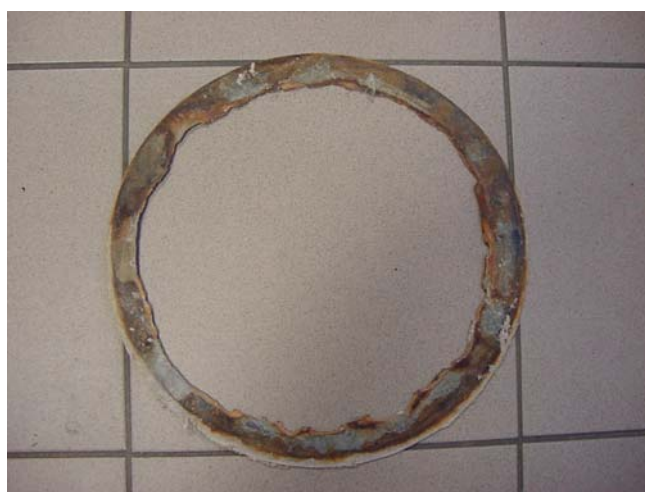


Fig. 5.3 – Junta de cartão substituída após falha

A ESA – *European Sealing Association* (publicação nº 014/04 de 2004) refere a relação entre o custo de aquisição de juntas e os custos da sua substituição incluindo os custos de paragem que se apresentam na tabela 5.1.

Tab. 5.1 – Custos (U. M.) relativos das juntas e das substituições

Tipo de junta	Custo da junta	Custo da substituição
Junta de cartão	1 – 10	300 - 1000
Junta em PTFE	4 - 80	300 - 1000

A mesma entidade atrás referida reporta os principais custos a observar no domínio da vedação que se apresentam na figura 5.4

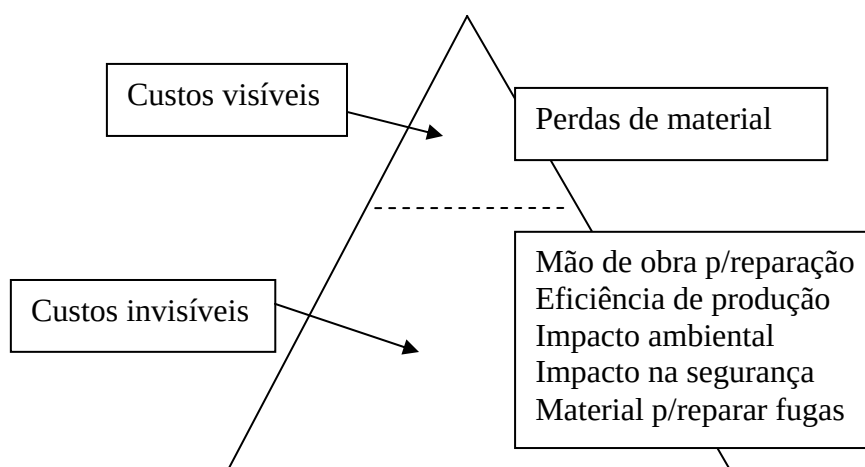


Fig. 5.4 – Custos das falhas da função de vedação

Outra referência interessante apresentada pela ESA diz respeito ao número de itens instalados em processos industriais por cada unidade de bombagem onde o seu número médio é cerca de 30 válvulas, 100 flanges e 1 válvula de segurança. Por outro lado indica-se que as válvulas são as responsáveis por cerca de 60% das fugas (emissões para a atmosfera) e as falanges cerca de 5%. No caso de estudo dos equipamentos do branqueamento esta proporção não se verifica pois, de acordo com os dados apresentados no subcapítulo 4.1.3, a maior parte das falhas de vedação são provocadas pelas tubagens e pelas uniões flangeadas de vedação que incluem, também, as uniões flangeadas aos equipamentos (válvulas e outros) em linha.

Neste contexto apresentam-se no quadro 5.2 uma síntese dos principais factores que influenciam as falhas de vedação neste tipo de equipamentos.

Quadro 5.2 – Factores que influenciam as falhas das juntas por vedação

	Junta	Flanges	Parafusos	Tubagem	Fluido
Material	x	x	x	x	
Espessura	x	x		x	
Tipo	x	x	x		x
Aperto			x		
Faces		x			
Vibração/choque				x	
Temperatura					x
PH					x

Assim, no âmbito deste trabalho foi criado em Setembro de 2005 no *software* com a versão 4.86 da CSI da companhia Emerson, usado na fábrica da Portucel Soprcel em Setúbal, um banco de dados respeitantes à recolha de dados medidos nas tubagens e nos equipamentos nelas instalados por forma a permitir o tratamento dos valores dos níveis de vibração; dos caudais de processo; das temperaturas a que estão sujeitos e ainda a posição da abertura/fecho das válvulas automáticas instaladas nas tubagens.

– Apresentam-se, em seguida, os principais aspectos a considerar no estudo dos equipamento de instrumentação em linha:

O equipamento de instrumentação designado por “em linha” tal como o apresentado na figura 5.5 têm como função principal a medição de variáveis do processo como sejam a temperatura, o caudal, a pressão, a condutividade, o PH, a consistência da pasta, o nível de recipientes (tanques), etc.

Os equipamentos em linha usados na área da lavagem e do branqueamento da pasta para papel podem ter apenas a função de indicação mas também a função de controlo e, neste caso, inserem-se numa “cadeia” (*loop*) de controlo. Neste caso vão-se abordar, essencialmente, os modos de falha dos equipamentos em linha com a função de indicação das variáveis do processo de operação.

Estes equipamentos como o que se apresenta no canto superior direito da figura 5.5 transformam uma característica física de uma determinada dimensão noutra característica (analógica) que possa ser interpretada por um computador de controlo do processo e pelo operador.



Fig. 5.5 - Equipamento (caudalímetro) de instrumentação em linha

Estes dispositivos de medida ou sensores são constituídos pelo transdutor que converte a variável a medir numa grandeza facilmente mensurável (eléctrica ou pneumática); o condicionador de sinal que converte a saída do transdutor num sinal adequado ao utilizador do sensor (na Europa usam-se sinais em miliampere ou volt); o indicador ou mostrador local usado quando se verificam vantagens operacionais e, finalmente, a fonte de alimentação pois são muito raros os sensores que não necessitam de ser alimentados electricamente.

Estes equipamentos de campo com as funções de indicação das variáveis do processo têm, normalmente, como “*output*” sinais analógicos ou contínuos em corrente entre 4 a 20 mA (miliamperes) que traduzem as variações dos elementos primários “*inputs*” das grandezas físicas do processo como por exemplo a temperatura em graus centígrados (°C) e a pressão em bar (Bar). Os sinais de “*output*” são ligados, através de armários técnicos próprios, ao *hardware* do sistema de controlo distribuído (DCS) de gestão do processo.

Os principais modos de falha dos equipamentos de indicação (em linha) do processo podem estar associados ao elemento primário (*input*) e(ou) à transformação do sinal do transmissor respectivo (*output*) verificando-se também, bastantes vezes, no elemento primário modos de falha associados ao desgaste, sujidade, estanqueidade e à vibração. No caso do transmissor de sinal os modos de falha associam-se a desajustes (calibração) e à alimentação eléctrica (fonte de alimentação). Refere-se, ainda, que entre o elemento primário (em contacto com o processo) e o transmissor podem ocorrer entre modos de falha associados à sua comunicação. Neste tipo de equipamentos as decisões que se colocam, mais frequentemente, à manutenção são a inspecção e a calibração.

A figura 5.6 apresenta esquematicamente a constituição genérica de um instrumento de medida, cujo desenho depende da variável a medir, do princípio físico utilizado para o efeito, da precisão requerida e do preço.

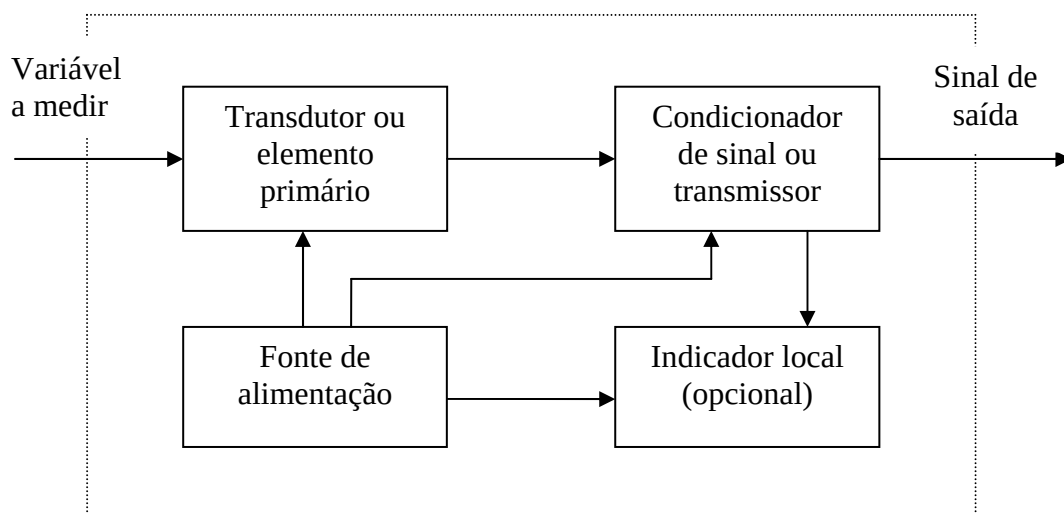


Fig. 5.6 – Esquema de princípio de um instrumento de medida

De referir que é costume utilizar a designação de transmissor quase sempre com o significado de condicionador de sinal, uma vez que os sinais de saída dos condicionadores são enviados a várias dezenas ou até mesmo algumas centenas de metros de distância do elemento primário. Uma das exceções à designação de transmissor atrás referida é o caso dos transmissores de pressão onde habitualmente se refere a todo o sensor de pressão.

– Os aspectos a considerar no estudo das celas de alimentação eléctrica:

Estes equipamentos têm como função principal alimentar, comandar e proteger os motores eléctricos e são instalados, normalmente, em armários eléctricos com vários módulos ou celas individualizadas como se apresentam nas figura 5.7 e 5.8.



Fig. 5.7 – Armário eléctrico

A figura 5.8 apresenta os componentes de uma cela (arrancador) de alimentação de um motor eléctrico trifásico do branqueamento.



Fig. 5.8 – Cella (arrancador) de alimentação eléctrica

Estes equipamentos são constituídas por circuitos eléctricos normalmente em série e compostos por componentes que fazem parte dos circuitos de força motriz para o motor eléctrico e os circuitos de comando e de protecção conforme o esquema da figura 5.9.

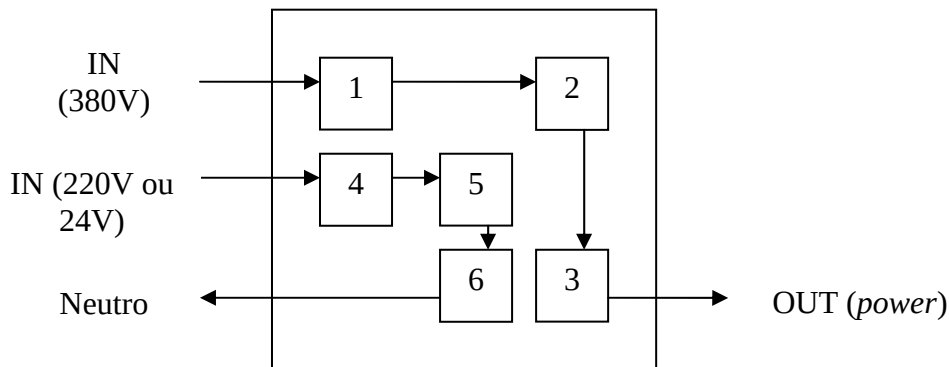


Fig. 5.9 – Esquematização de uma cela eléctrica

As referências numéricas referidas na figura 5.9 têm o seguinte significado:

- 1 – Seccionador com fusíveis;
- 2 – Contactador do circuito de força;
- 3 - Térmico com transformadores de intensidade;
- 4 - Disjuntor de comando;
- 5 – Relé térmico;
- 6 – Contactador do circuito de comando

Os modos de falha neste tipo de componentes estão normalmente associados ao efeito prolongado da temperatura devida a maus contactos, a sobrecargas, a oxidações e ao dimensionamento. As decisões que se podem colocar à gestão da manutenção é a de inspecção, de reparação ou a substituição do componente avariado ou da cela, se amovível, por outra que lhe seja rotável.

– Os aspectos a considerar no estudo dos equipamentos estáticos de regulação:

Estes equipamentos de regulação em linha podem ser de actuação manual ou automática. Os que interessam considerar são os de regulação automática.

Estes últimos designados por válvulas automáticas, cujo esquema de conjunto se apresenta na figura 5.10, são constituídos por uma válvula cujo obturador é normalmente de esfera ou de borboleta em aço inoxidável ou em titânio; um actuador e um posicionador suportados pela própria válvula que é montada, fixa e suportada nas tubagens onde são instaladas. São equipamentos cujo valor monetário varia proporcionalmente com a qualidade dos materiais usados e com a sua dimensão física.

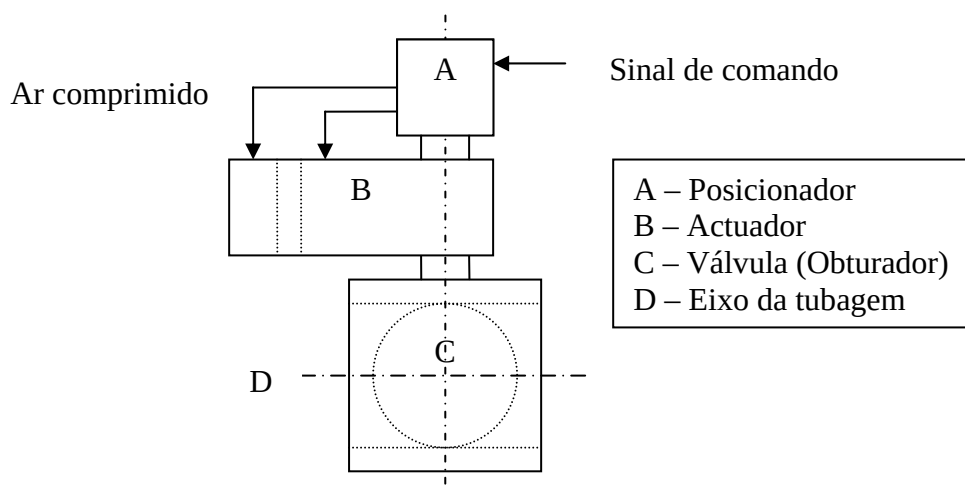


Fig. 5.10 – Representação esquemática do conjunto de regulação

Os principais modos de falha típicos neste tipo de equipamentos são caracterizados pelo desgaste do obturador da válvula e das respectivas sedes sendo este uma função do número de manobras efectuadas por unidade de tempo, da posição do obturador e da agressividade do fluído que conduz e regula. Por outro lado o posicionador é outro componente onde se pode verificar um considerável número de falhas devido a vibrações da tubagem onde a válvula está instalada (avaria extrínseca) ou, por exemplo, devido à qualidade do ar de alimentação.

As decisões de manutenção sobre estes equipamentos enquadram-se numa política de acções preventivas sistemáticas. Esta política é levada a efeito nas fábricas de pasta, essencialmente, durante as chamadas paragens gerais (anuais) para manutenção.

A figura 5.11 apresenta um conjunto que compõe a chamada válvula automática que no caso trata-se de uma válvula de intercalar (sem flanges) na tubagem e com o obturador de borboleta (disco).



Fig. 5.11 – Válvula automática de borboleta (disco)

A figura 5.12 apresenta dois modelos de posicionadores usados nas válvulas automáticas.



Fig. 5.12 – Posicionadores de válvulas

As falhas e avarias apresentadas no subcapítulo 4.1.3 deste trabalho conduziram à inspecção ou à reparação desta família de equipamentos tendo-se verificado existir os tipos de falha apresentados no quadro 5.3.

Quadro 5.3 – Principais tipos de falha das válvulas automáticas

Válvula	Posicionador	Actuador
Dá passagem	Alarme	Não actua
Prisão	Verificar*	Prisão
Não abre/fecha	Vibração	
Vibração	Indicador	

* Diferença entre o *set-point* requerido e o real

As decisões de manutenção a tomar neste tipo de equipamentos passam pela política de inspecção (calibração) preventiva periódica do conjunto em função da sua importância no processo produtivo e pela substituição das partes constituintes (rotáveis) e não pela reparação curativa. De notar que a válvula propriamente dita é, normalmente, a parte de maior valor monetário relativamente ao conjunto.

– Os aspectos a considerar no estudo dos equipamentos estáticos com movimento linear:

Os cilindros óleo-hidráulicos são equipamentos que recebem energia através de um fluido hidráulico sob pressão, no caso o óleo mineral, e transformam essa energia em trabalho manifestado através de movimentos lineares. Os cilindros óleo-hidráulicos têm um princípio de funcionamento semelhante ao dos cilindros pneumáticos mas estão projectados para funcionarem com pressões muito mais elevadas para a obtenção de forças da mesma proporção ao equipamento accionado. Por este facto são também relevantes na fiabilidade desta família de equipamentos as falhas que possam provocar derrames de óleo pois estas podem, para além do mais, afectar o meio ambiente. Para além do equipamento propriamente dito as características e a qualidade do óleo hidráulico, o acabamento superficial e os ajustes dos componentes são factores relevantes para bom funcionamento e para a fiabilidade do sistema.

Os equipamentos atrás referidos estão instalados em cada uma das 7 torres do branqueamento da pasta totalizando 42 cilindros com a função principal de permitir a lavagem da pasta através da movimentação linear de um crivo lavador instalado no interior de cada uma das torres do processo sequencial do branqueamento da pasta conforme apresentado na figura 4.6 do subcapítulo 4.1. Cada torre do branqueamento funciona com um conjunto de seis cilindros e estes funcionam em séries de 3 cilindros com uma pressão de serviço de cerca de 140 bar e com um curso de 250 mm nas torres D0, E2 e D2 e de 150 mm nas restantes torres. A figura 5.13 apresenta um dos cilindros que se inserem nos sistemas de lavagem e de contra lavagem, referidos nos subcapítulos 4.1 e 4.1.3, cuja função é permitir na primeira operação, correspondente ao movimento de subida, efectuar a lavagem da pasta e na segunda efectuar a limpeza dos orifícios dos crivos lavadores para se evitar que estes fiquem obstruídos com fibras de pasta.



Fig. 5.13 – Cilindro óleo-hidráulico do sistema de elevação dos crivos

Neste contexto é fundamental o sincronismo do movimento linear dos crivos lavadores durante o tempo de subida e de descida regulados, como já referido, pelos cilindros hidráulicos. As decisões de reparação e de substituição são as mais comuns e as de controlo de condição as que mais interessam face ao interesse operacional. Um dos sintomas do início de falha dos cilindros é a rugosidade da haste provocando, desta forma, desgaste no vedante (normalmente o superior) e a sua rotura. A figura 5.14 apresenta esquematicamente a constituição de um cilindro óleo-hidráulico.

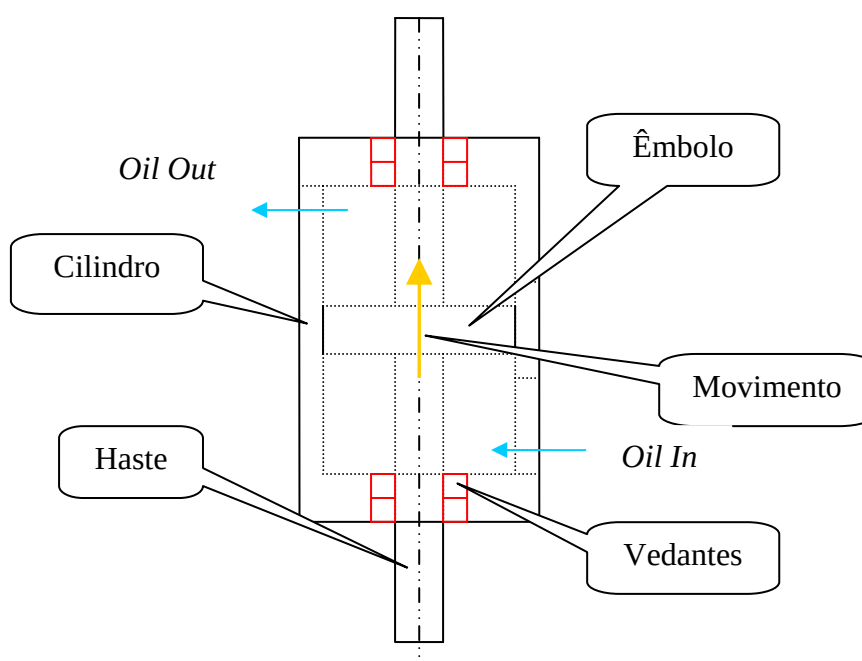


Fig. 5.14 – Representação dos componentes de um cilindro óleo-hidráulico

A figura 5.15 apresenta a zona superior de um cilindro óleo-hidráulico onde se pode observar o início duma falha do vedante.



Fig. 5.15 – Início de falha dos vedantes do cilindro óleo-hidráulico

Os principais modos de falha verificados neste tipo de equipamentos dizem respeito aos sistemas de vedação aos êmbolos dos cilindros e ao seu correcto funcionamento por forma a permitir o seu alinhamento com as hastes dos crivos que accionam.

5.2.2.2 – A família dos equipamentos rotativos

São inseridos na família dos equipamentos rotativos todos os sistemas que para além de poderem gerar um movimento de rotação como no caso dos motores eléctricos podem também fazer variar (reduzir ou aumentar) a rotação dos equipamentos produtivos accionados através de redutores e de multiplicadores de velocidade transformando essa velocidade de rotação em trabalho a um fluído do processo como acontece nas bombas hidráulicas. Nesta família de equipamentos existe, normalmente, uma parte estática e outra parte (ou partes) rotativa. A parte estática assume na maioria dos casos uma função estrutural para permitir que a função principal da parte rotativa seja executada. É também corrente existir entre a parte ou as partes fixas e as rotativas componentes designados por “rolamentos” que são, em muitos casos, os principais responsáveis pela fiabilidade deste tipo de sistemas. É nestes componentes que a correcta lubrificação e relubrificação assumem também uma importância decisiva na fiabilidade e na disponibilidade presente e futura dos equipamentos rotativos.

De referir que entre a parte estática e a rotativa atrás referidas existem componentes com funções de vedação e contenção do fluido a bombear (no caso das bombas) ao designados por vedantes ou retentores e por empanques.

É nos equipamentos rotativos que as técnicas de análise de condição através de aparelhagem específica sem a paragem dos equipamentos se têm revelado como uma das práticas mais decisivas na melhoria da disponibilidade dos equipamentos e dos respectivos custos operacionais. A técnica baseia-se no efeito dinâmico das vibrações provocadas pelos componentes rotativos sendo possível por esta via detectar falhas potenciais através da energia emitida em forma de ondas. A grande vantagem do uso desta prática é, como já referido, a de permitir que se efectuem diagnósticos de análise de condição por forma a permitir aos gestores da manutenção, em conjunto com os da produção, preparar, planear e programar os meios necessários (Humanos e materiais) para se minimizarem os efeitos operacionais através da actuação preventiva (proactiva).

– Os aspectos a considerar nos sistemas de bombagem de pasta a média consistência:

Estes sistemas permitem a bombagem da pasta para papel entre as várias torres do branqueamento e são críticos relativamente à disponibilidade da área fabril. As bombas hidráulicas do tipo centrífugo são a família de equipamentos rotativos mais usados na indústria da fabricação da pasta para papel e as designadas de média consistência são as mais importantes do processo do branqueamento. A pasta, a uma consistência de 10%, é bombada para o fundo da parte cónica de cada uma das torres do processo do branqueio da pasta.

Na área fabril em estudo existem bombas idênticas de pasta ao processo série-paralelo designadas por P022, P041, P062, P082, P102 e P122 e com iguais funções. Devido à agressividade dos produtos químicos necessários ao branqueamento da pasta e à aplicação específica neste tipo de indústria estes equipamentos são constituídos por materiais em aço inoxidável e em titânio o que os torna de elevado valor monetário. As bombas P022 e P041 recebem a pasta da primeira torre do branqueamento designada por D0 e bombeiam a pasta para as torres E1.1 e E1.2 e assim sucessivamente como apresentado nas figuras 4.3 e 4.4 do subcapítulo 4.1.

Assim, de acordo com a figura 4.4, as bombas P062 e a P082 bombeiam para as torres D1.1 e D1.2, a bomba P102 recebe a pasta das últimas torres referidas e envia-a para a torre E2 e, finalmente, a bomba P122 envia a pasta para a torre D2. Os principais modos de falha deste tipo de equipamentos estão associados a problemas em rolamentos, ao desgaste das partes rotativas especialmente no impulsor, a falhas de vedação e deficiências na lubrificação. A figura 5.16 apresenta uma bomba MC (média consistência) e as respectivas ligações de aspiração e de compressão.



Fig. 5.16 – Bomba de pasta MC do branqueamento

A figura 5.17 apresenta esquematicamente uma bomba de pasta MC do branqueamento e um pormenor do sistema de vedação.

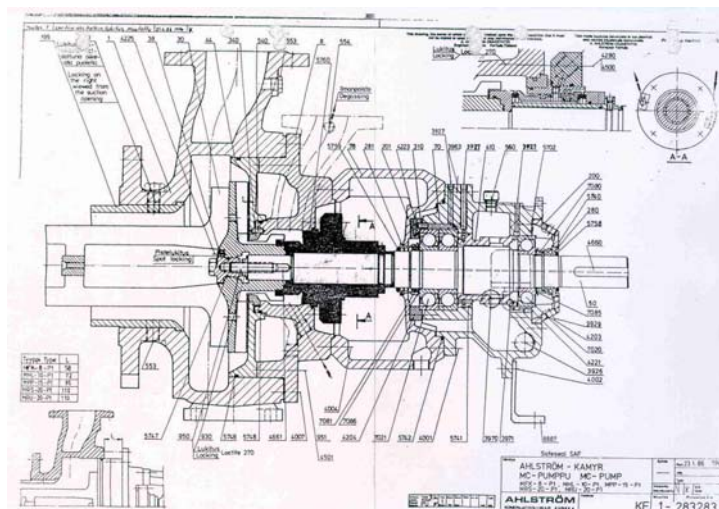


Fig. 5.17 – Representação dos componentes de uma bomba MC

As bombas, conjuntamente com o equipamento que as acciona, são montadas sobre uma base metálica e ligadas ao motor eléctrico de accionamento através dos respectivos veios e um acoplamento. O correcto alinhamento entre os eixos dos veios é um aspecto relevante na fiabilidade do conjunto das partes rotativas como é o caso dos rolamentos nas partes estáticas de vedação (vedante mecânico). Outros modos de falha como a cavitação podem ocorrer nestes equipamentos hidráulicos. A técnica de análise de condição é a que melhores resultados tem conduzido na disponibilidade dos equipamentos rotativos e as decisões de gestão destes equipamentos nomeadamente, as de reparação ou substituição do conjunto rotável ou, ainda, de um componente, são tomadas quando o nível de vibração medido não for tolerável para o equipamento em análise. Para além da medição do nível de vibração são também medidas temperaturas e avaliados pela via sensorial outros factores que possam influenciar a fiabilidade destes equipamentos.

- Os aspectos a considerar no estudo dos redutores de velocidade:

Os redutores de velocidade (ou multiplicadores) como o apresentado na figura 5.18 são usados na transmissão do movimento às bombas hidráulicas de pasta atrás designadas por MC's.



Fig. 5.18 – Redutor de transmissão entre o motor e a bomba MC

Nos redutores o veio da entrada de movimento é uma das partes mais críticas comparativamente com as restantes partes devido à maior probabilidade de avaria.

O exemplo de falha atrás referida pressupõe, à partida, que existe uma maior probabilidade do risco de avaria nas partes com maior velocidade de rotação nesta família de equipamentos. De facto enquanto os componentes com movimento de rotação à entrada do redutor rodam, na maioria das situações, a cerca de 1500 rpm e os componentes da saída podem rodar apenas a poucas dezenas de rotações por minuto.

Também aqui a medição e a análise de vibrações é a técnica mais aplicada e difundida no controlo da condição. Esta técnica permite identificar falhas em rolamentos e, conjuntamente com a análise de partículas contidas no óleo de lubrificação, desgastes nas rodas das engrenagens dos pares cinemático.

As decisões de reparação ou de substituição deste tipo e equipamentos também considerados como reparáveis e rotáveis deve estar sujeita, na grande maioria dos casos, ao diagnóstico da condição de funcionamento do equipamento.

- Os principais aspectos a considerar o estudo dos motores eléctricos:

Os motores eléctricos são conjuntamente com os equipamentos que processam os produto como as bombas; os agitadores; os transportadores; as válvulas; etc., um dos equipamentos fundamentais na industria em geral e na da pasta para papel em particular.

O número de equipamentos instalados deste tipo não depende, linearmente, da capacidade instalada da unidade de produção mas é normal numa instalação com secagem de pasta e com a preparação de madeiras identificarem-se mais de 1000 motores simultaneamente em operação (serviço).

Mais uma vez e por se tratar de um equipamento rotativo as técnicas de medição e análise de vibrações sem a paragem do equipamento são aplicáveis. A limpeza e a medição e avaliação das grandezas eléctricas incluindo as do nível de isolamento e o equilíbrio do consumo entre fases são aspectos fundamentais a considerar.

O número de arranques sucessivos, a sobrecarga (carga acima do nominal) e o consequente aumento de temperatura são também factores determinantes da condição e da fiabilidade dos enrolamentos dos condutores usados nesta família de equipamentos.

A figura 5.19 apresenta um caso da evolução do nível de impactos de choque de um rolamento de um motor eléctrico medido ao longo do tempo.

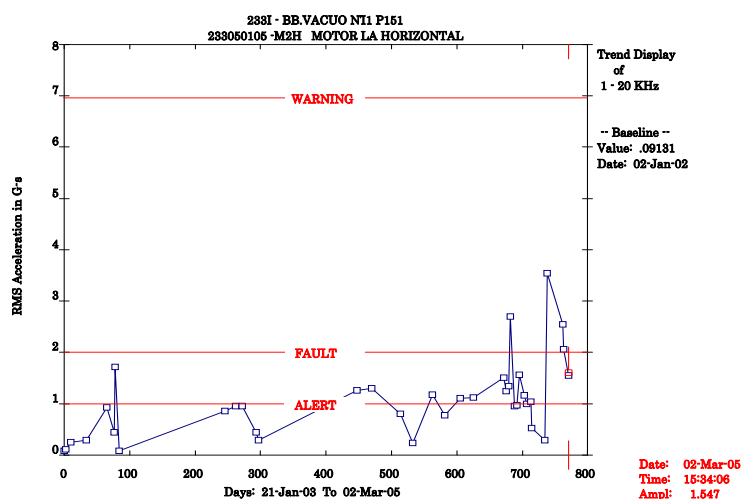


Fig. 5.19 – Evolução da condição de funcionamento de um rolamento

Os motores eléctricos são constituídos, basicamente, por uma parte rotativa (rotor) e outra parte estática (estator). O rotor é a parte que transmite o movimento de rotação à máquina accionada e o estator é a que induz no rotor através da corrente eléctrica forças electro-motrizes que vão provocar o movimento. Estas máquinas eléctricas são na maior parte dos casos alimentadas por correntes alternas polifásicas para permitir a possibilidade da criação de campos magnéticos girantes.

Uma das principais causas verificadas nas avarias destes equipamentos estão relacionadas com os processos de degradação dos rolamentos que suportam o rotor e o efeito da temperatura no isolamento dos condutores da bobinagem que proporciona a indução magnética para a função do motor eléctrico.

Neste caso o efeito dinâmico medido através da consequente vibração provocada e a medição da temperatura externa do motor podem ser dois parâmetros importantes para o acompanhamento e a avaliação do risco de falha e para o conhecimento da condição deste tipo de equipamentos. As principais decisões de gestão sobre esta família de equipamentos passa, portanto, pelas inspecções periódicas sem a paragem do equipamento e a sua substituição deve ser função da avaliação da sua condição.

5.2.3 – Resumo dos modos de falha dos componentes dos equipamentos

Os modos de falha estão quase sempre associados a processos de degradação dos materiais dos componentes dos equipamentos durante o seu funcionamento quando sujeitos às condições normais exigidas pelo processo produtivo. No entanto os modos de falha dos componentes podem diferir substancialmente em função do tipo de equipamento e, conseqüentemente, em cada uma das famílias onde se podem agrupar e do tempo que pode decorrer entre o início de uma falha até a avaria conducente à incapacidade do incumprimento da função operacional. Este processo de degradação a que nos já referimos no subcapítulo 2.1.3 é apresentado na figura 5.20 em função da avaliação do nível pontual (entre zero e um) da condição do componente/equipamento.

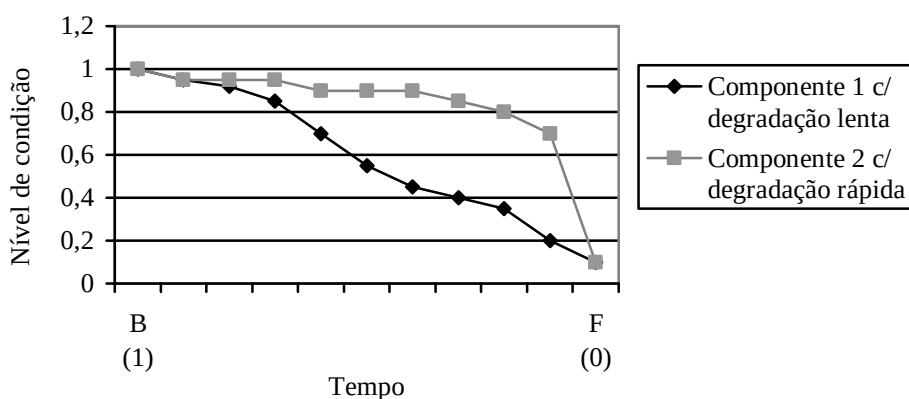


Fig. 5.20 – Evolução de dois tipos de processos de degradação

Moubray (1999) caracteriza por P-F o tempo que decorre entre o início de uma falha até à avaria do componente.

Podem ser inseridos nos processos de degradação lenta os modos de falha associados ao desgaste por corrosão, erosão e abrasão; o desalinhamento; o desequilíbrio; a fixação/aperto; a sujidade; a fadiga; a evaporação e a ventilação; a filtragem e o ajuste. Relativamente ao processo de degradação mais rápido os modos de falha que se associam são o choque e as sobrecarga; o isolamento eléctrico; a descalibração; a estanqueidade; a indução e de uma forma geral todos os processos de degradação associados às avarias dos *softwares* e dos *hardwares* dos PLC's do controlo do processo produtivo.

Durante a recolha dos dados do presente trabalho verificou-se mais frequente as avarias provenientes de processos de falha com degradação lenta durante o funcionamento e sem interrupções dos equipamentos do que avarias provenientes de processos de falha com degradação rápida. Mas por outro lado em situações de funcionamento mas após um arranque de equipamentos verificaram-se bastantas avarias decorrentes de processos de degradação rápida.

Quando um equipamento funciona sem interrupções até avariar e durante esse período de tempo ele não é afectado por quaisquer factores externos, como acontece em testes de funcionamento, a falha e a posterior avaria é intrínseca ao(s) componente(s) do equipamento em teste. A realidade industrial difere da situação atrás referida pois, para além da situação atrás exposta, o equipamento também está sujeito a factores operacionais extrínsecos que o podem afectar indirectamente. Para além disso outros factores podem ser considerados em consequência da forma de como são operados e mantidos em funcionamento.

Face ao atrás exposto considera-se importante considerar e tipificar, para além dos modos de falha dos componentes dos equipamentos, as situações operacionais em que as avarias ocorreram e, desta forma, actuar-se sobre os factores (covariáveis) que as originaram. Dá-se um exemplo do elevado número de avarias provenientes da falta de estanqueidade e roturas verificadas nas tubagens associadas ao processo da lavagem da pasta da área fabril em estudo em situações de funcionamento após o arranque das instalações e, outro exemplo, das avarias verificadas nos cilindros hidráulicos do accionamento dos lavadores por difusão provenientes da falta de estanqueidade em situações de funcionamento aparentemente normais.

Sendo certo que os processos de degradação que conduzem às falhas e às avarias sempre acontecerão mesmo por vezes quando os equipamentos não funcionam (refiro-me por exemplo a situações de armazenagem) e estando identificados e localizados os modos de falha interessa encontrar as melhores práticas de gestão operacional ao nível das metodologias e dos procedimentos da produção (condução) e da manutenção através da adequação dos planos operacionais às possíveis situações operacionais de estado de arranque e de entrada em funcionamento normal dos equipamentos.

Para além das falhas funcionais o quadro 5.4 apresenta também os principais modos de falha considerados nas famílias dos equipamentos em estudo.

Quadro 5.4 – Principais modos de falha

Equipamentos	Falhas funcionais	Modos de falha
Tubagens e uniões flangeadas	Vedação e condução. Juntas e tubagens	Desgaste
		Corrosão (<i>stress</i>)
		Estanqueidade
		Rotura
Cilindros óleo-hidráulicos	Movimento linear interrompido. Fugas pelos vedantes	Desgaste
		Desalinhamento
		Vedação (estanqueidade)
		Contaminação do óleo
Bomba de pasta & redutor	Movimento de rotação. Rolamentos e vedantes	Desgaste
		Lubrificação
		Desalinhamento
		Vedação (estanqueidade)
Motor eléctrico	Movimento de rotação. Rolamentos e bobinagem	Aquecimento
		Contacto eléctrico
		Lubrificação
Válvula	Movimento de regulação	Vibração
		Vedação (estanqueidade)
Actuador	Movimento linear. Vedação e articulações	Estanqueidade
		Fixação
		Lubrificação
Posicionador	Posicionar	Maus contactos
		Qualidade ar comprimido
Cela eléctrica (arrancador)	Alimentação e comando. Contactos, relés e fusíveis	Maus contactos
		Aquecimento
		Corrosão
Instrumento em linha	Medição. Elemento primário e transmissor	Calibração
		Sujidade
		Maus contactos

5.2.4 – As covariáveis a observar e a usar na aplicação do modelo PHM

O objectivo do modelo dos riscos proporcionais é deduzir os efeitos que determinadas variáveis poderão ter na fiabilidade dos equipamentos. O modelo pressupõe que essas variáveis possam ter uma acção directa na causa das avarias e, por isso, permite determinar o risco de avaria associado a cada uma delas. As variáveis tomam em conjunto no modelo a designação de covariáveis devendo ser independentes entre si e, ao mesmo tempo, devem deduzir os efeitos que determinados factores poderão ter na fiabilidade dos componentes dos equipamentos.

De acordo com o subcapítulo 3.2 o modelo dos riscos proporcionais permite avaliar, através das covariáveis consideradas, o peso de cada um dos factores seleccionados no processo da avaria do componente do equipamento e por consequência a função de risco a determinado momento. As covariáveis Z apresentadas na expressão 3.1 da página 156 podem ser contínuas ou discretas representando, respectivamente, os valores medidos e a presença ou a ausência de um determinado factor.

No caso em estudo devida à sua importância e ao número de avarias foi seleccionada a área fabril do branqueamento da pasta para papel. Esta área fabril é constituída por um conjunto de equipamentos com diferentes funções e ao mesmo tempo com funções semelhantes quando em funcionamento em sistemas idênticos como é o caso.

A tabela 5.2 apresenta as famílias de equipamentos considerados.

Tab. 5.2 – Famílias de equipamentos em estudo

Estáticos		Rotativos		Lineares (estáticos)	
Equipamento	Quantidade	Equipamento	Quantidade	Equipamento	Quantidade
Tubagens	14	Bombas	6	Válvulas	25
Celas	6	Motores	6	Cilindros	42
Sensores	14	Transportador	1		

O quadro 5.5 apresenta as covariáveis a considerar e os valores a obter nos diferentes equipamentos em serviço no caso particular em estudo da área do Branqueamento da pasta para papel.

Quadro 5.5 - Principais covariáveis a considerar

Equipamentos	Falha funcional observada	Covariáveis (Z) a considerar
Tubagens e flanges	Falha de vedação	Em operação / arranque (0,1)
		Nível de vibração (<, >)
		Idade da tubagem (<, >)
		Variáveis de processo (<, >)
		Altura manométrica (0,1)
Cilindros óleo-hidráulicos	Falha de vedação ou de movimento linear	Em operação / arranque (0,1)
		Valor da produção
		Tempo de subida e de descida
		Localização da torre
		Nível de contaminação do óleo
		Curso dos cilindros
Bombagem da pasta (do motor até à bomba)	Falha de rotação	Consistência da pasta
		Consumo de corrente (<, >)
		Nível de vibração (<, >)
		Temperatura (<, >)
Válvulas automáticas	Falha de controlo	Número de arranques sucessivos
		Nível de vibração (<,>)
		Maus contactos (0,1)
		Nº de ciclos p/ unidade tempo
		Ligação actuador – válvula (0,1)
		% de abertura (0,1)
Celas eléctricas	Falha de alimentação ou de comando	Qualidade do ar comprimido (0,1)
		Temperatura (<, >)
		Nº de rearmes e arranques sucessivos
Instrumentos em linha	Falha de indicação	Qualidade do ar (sala) (0,1)
		Sensor limpo / sujo (0,1)
		Calibrado / descalibrado (0,1)

Para cada uma das famílias de equipamentos considerados deve ainda ser considerada a covariável “último tipo de acção de manutenção” (<1, >1 dia).

Os factores escolhidos como covariáveis, o valor da amplitude das grandezas ou, ainda, a presença ou a ausência de determinada condição são apresentados na tabela 5.3.

Tab. 5.3 – Factores escolhidos para as covariáveis do caso em estudo

Factores	Tubagens	Celas	Sensores	Bombas	Motores	Válvulas	Cilindros
Condução	0 - 1	0 - 1		0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1
Vibração	Valor			0 - 1	0 - 1	Valor	
Temperatura	Valor	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1		
Manutenção	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1		0 - 1	0 - 1
Material	0 - 1			0 - 1			
Altura	0 - 1						
Localização			0 - 1	0 - 1		0 - 1	0 - 1
Origem				0 - 1	0 - 1		
Carga		0 - 1			0 - 1		Valor
Consumo					0 - 1		
Arranques					0 - 1		
Ventilação		0 - 1					
Estação		0 - 1					
Manobras		0 - 1					
Modo						0 - 1	
Ciclos						0 - 1	0 - 1
Ar						0 - 1	
Abertura	Valor					Valor	
Caudal	Valor		0 - 1				
Identificação			0 - 1				
Filtragem							0 - 1
Dif. pressão							0 - 1
Velocidade							0 - 1
Curso							0 - 1
Posição							0 - 1
Consistência							Valor
Estado	0 - 1						
PH	Valor		Valor				

Existem entre os principais factores seleccionados aqueles que são inerentes ao próprio processo de produção tais como a temperatura, a consistência e o PH da pasta e, ainda, os materiais usados nos equipamentos, a sua localização e o modo de funcionamento. Foram também escolhidos factores associados ao nível de produção tais como a carga, o consumo, o número de manobras e de ciclos, a percentagem de abertura o caudal e a velocidade e, finalmente, os factores que podem ser considerados como um resultado das condições anteriormente referidas e exigidas aos equipamentos tais como a vibração, a temperatura, o diferencial de pressão e o estado actual do equipamento. Existem, ainda, factores que não sendo inerentes ao processo de produção são, no entanto, fundamentais ao bom funcionamento dos equipamentos como sejam a ventilação, a qualidade do ar comprimido industrial, a filtragem e, ainda, factores externos como a forma de condução e o tipo de manutenção a que estão sujeitos. Finalmente são ainda seleccionados factores que tanto são externos ao processo de produção como aos equipamentos, como é o caso das estações do ano. Os factores referenciados podem tomar o valor zero ou um conforme se verifique, ou não, uma determinada condição ou, ainda, um valor obtido através de uma medição efectuada no(s) equipamento(s) antes de avariarem.

Quanto aos factores “condução” e “manutenção” interessa que sejam devidamente explicitados no contexto operacional do caso em estudo por poderem influenciar a fiabilidade dos equipamentos no que diz respeito à forma de como os operadores da produção executam os procedimentos de arranque e o início de funcionamento dos equipamentos e, por outro lado, o tipo de manutenção efectuada antes da avaria se verificar. Após um arranque e depois do equipamento entrar em funcionamento a situação é caracterizada pela atribuição do valor 0 se a avaria ocorreu e por 1 no caso contrário. Estas situações são a seguir apresentadas no subcapítulo 5.2.5 por diferirem entre si como se poderá observar através das figuras 5.21 e 5.22 pois nesta última o equipamento avariou após pouco depois de entrar a funcionar. No caso da covariável “manutenção” é relevante caracterizar pelos valores 0 ou 1 se foi efectuada antes da avaria uma acção curativa ou detectiva sobre o equipamento então avariado. Este caso não sendo inerente ao processo de produção é, no entanto, considerado fundamental conhecer a sua importância. Finalmente de notar que qualquer das circunstâncias atrás descritas a magnitude dos factores das covariáveis apresentadas são sempre medidas ou avaliadas antes das avarias terem ocorrido.

5.2.5 – A contagem dos tempos de funcionamento ou de sobrevivência

O modelo baseia-se na probabilidade condicionada por unidade de tempo do componente de determinado equipamento em funcionamento avariar no intervalo de tempo compreendido entre $[t, t+\Delta t]$ sabendo-se à partida que ele não avariou até t . Assim, a contagem dos tempos de funcionamento dos equipamentos é feita entre as avarias que se vão verificando ao longo do tempo desde o momento do arranque até ao momento da paragem por avaria descontado, se caso disso, o tempo correspondente a paragens para manutenção. Para além do referido caracterizam-se em seguida duas situações temporais que são contempladas por ocorrerem com alguma frequência nas instalações industriais e, como referido no sub-capítulo anterior, podem influenciar a magnitude de algumas das covariáveis consideradas.

Situação 1 - No conjunto de equipamentos semelhantes do sistema em série que estão em funcionamento e a produzir ocorre, durante esse estado, uma avaria de um componente de um equipamento impedindo-o de cumprir a sua função operacional. Nesta situação o equipamento avariado e os restantes são obrigados a parar. Os serviços de manutenção recebem a notificação da avaria pelo que a reparam e, em seguida, o equipamento retoma o seu funcionamento normal conjuntamente com os restantes equipamentos;

Situação 2 - Um conjunto de equipamentos estão em funcionamento no sistema em série e devido a uma avaria de um componente de um deles ou, ainda, devido a uma paragem programada eles são obrigados a interromper o funcionamento tal como no caso anterior. Após efectuada a reparação pelos serviços de manutenção no caso de avaria ou após a paragem programada ocorre o arranque e a entrada em funcionamento do sistema mas, neste caso, verifica-se que outro dos equipamento antes em condições avariou. Nestas condições o sistema volta a parar de novo para se efectuar a reparação desse equipamento e, após isso, é retomado o seu funcionamento normal conjuntamente com os demais.

As duas situações atrás referidas são representadas esquematicamente através das figuras 5.21 e 5.22.

Na figura 5.21 apresenta-se a situação 1 atrás descrita e onde os equipamentos B e C aguardam parados durante o tempo de reparação do equipamento A que avariou. Este após reparado arranca e entra em funcionamento conjuntamente com os restantes equipamentos.

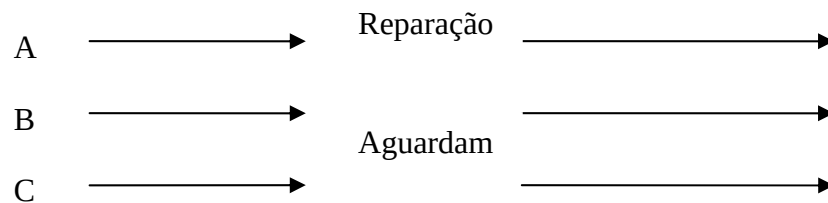


Fig. 5.21 – Situação 1

A figura 5.22 apresenta a situação 2 também atrás caracterizada e onde uma paragem ocorre para a reparação do equipamento A ou devida a uma paragem por outros motivos externos à área fabril (por exemplo falta de energia). Neste caso quando os equipamentos arrancam e entram em funcionamento verifica-se que passado pouco tempo outro equipamento avaria, por exemplo o equipamento C. Os restantes equipamentos A e B aguardam pela sua reparaçã e depois desta voltam de novo a entrar em funcionamento.

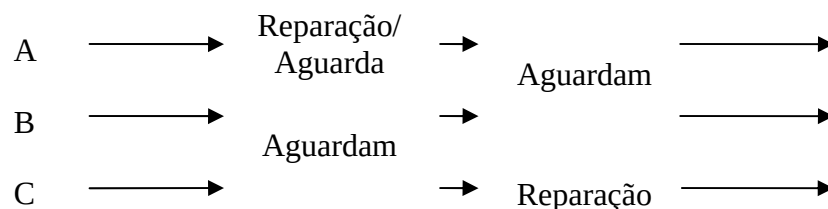


Fig. 5.22 – Situação 2

De notar que não é considera a hipótese de um equipamento avariar quando entra em funcionamento após ter sido reparado porque os equipamentos são ensaiados após as reparações.

Tomando em consideração os pressupostos atrás referidos foram retirados os tempos entre as avarias do sistema de obras da gestão da manutenção (CMMS) o SAP/R3, módulo PM, usado na fábrica de pasta da Portucel Soporcel de Setúbal.

O quadro 5.6 apresenta um exemplo acerca da forma de como foram obtidos os tempos entre as avarias dos equipamentos semelhantes do sistema produtivo em série. No caso referente às bombas de pasta MC, tal como noutros casos, descontaram-se os tempos das paragens programadas significativas assinaladas com (*), como a que ocorreu em Maio de 1999. No exemplo podem-se observar datas muito curtas entre avarias na maior parte dos casos devidas à situação 2 referida no início do subcapítulo 5.2.5.

Quadro 5.6 – Datas das avarias dos equipamentos

Tempo (dias) entre as avarias dos equipamentos semelhantes			
Datas	Intervalos de tempo	Dias	Equipamento
13.01.99			P062
09.06.99	De 13.01.99 até 09.06.99	137(*)	P102
06.07.99	De 09.06.99 até 06.07.99	27	P022
04.01.00	...	...	P082
19.09.00	...	...	P022
20.09.00			P102
24.01.01			P102
09.02.01			P102
02.03.01			P022
09.03.01			P041
26.03.01			P022
27.03.01			P122
05.04.01			P022
13.07.01			P062
06.02.02			P082
09.05.02			P022
29.05.02			P122
13.08.02			P062
09.10.02			P122
29.04.03			P041
23.05.03			P102
17.06.03			P102
14.10.03			P022
31.10.03	...	...	P041
24.11.03			P041

Finalmente, apresenta-se esquematicamente na figura 5.23 da página seguinte um exemplo da contagem dos tempos entre avarias devido à degradação muito rápida da função principal dos equipamentos que ocorreram a seguir a paragens e a arranques da instalação. Na figura atrás referida as linhas verticais a tracejado delimitam e representam o período de tempo durante o qual ocorreu a paragem e o posterior arranque dos equipamentos da área fabril. Os valores apresentados entre as linhas horizontais com setas representam a contagem em dias do tempo entre as avarias.

Cada uma das linhas horizontais apresentadas na figura 5.23 dizem respeito a um exemplo do funcionamento ao longo do tempo de um sistema em série constituído por quatro tubagens A, B, C e D instaladas na área do branqueamento das pasta.

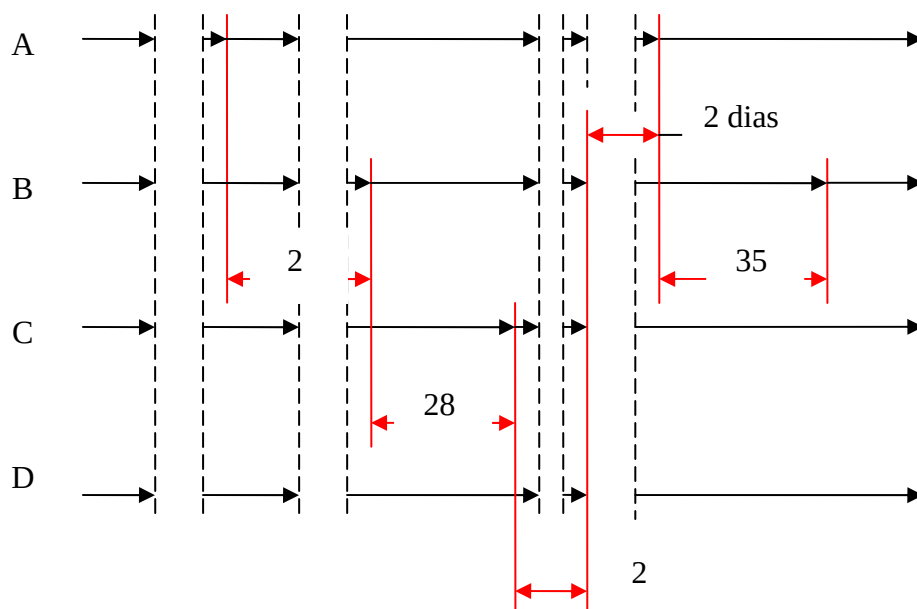


Fig. 5.23 – Representação da contagem dos tempos (dias) entre avarias

Assim, quando as avarias se verificaram após um arranque a covariável toma um valor que permite diferenciar esta situação do caso em que as avarias ocorram durante um regime de funcionamento (produção) normal. Por isso para distinguir cada uma das situações atrás referidas se usam valores binários (zero ou um) para cada uma delas.

5.2.6 – Os meios e a forma da obtenção dos dados

Na maior parte dos casos os dados foram recolhidos através dos documentos fabris como por exemplo os Boletins Diários de Operação, o SAP/R3 (módulo PM) e através de verificações locais que decorreram entre o 1º semestre de 2005 e o 2º semestre de 2006. Recoreu-se na maior partes das situações ao histórico dos equipamentos, em alguns casos desde 1999, e também à informação recolhida do pessoal da manutenção e da operação (condução). Refere-se ainda que a partir de Janeiro de 2006 esta tarefa tornou-se ainda mais difícil devido ao início da reorganização e ao *downsizing* da estrutura operacional dos serviços de manutenção da fábrica de pasta da Portucel Soporcel de Setúbal.

Assim, são apresentados resumidamente no quadro 5.7 os meios, a forma da recolha e cada responsável pela obtenção dos dados respeitantes às covariáveis a observar.

Quadro 5.7 – Meios e forma para a obtenção dos dados das covariáveis

Covariáveis consideradas	Forma de obtenção dos dados	Responsabilidade
Operação/arranque	Boletim de Operação	Operador
Nível de vibração*	Vibrómetro e <i>software</i> CSI	Inspector
Idade da tubagem	Histórico	Doutorando
Temperatura dos equipamentos	Termómetro e <i>software</i> CSI	Inspector e electricista
PH	Boletim de Operação	Operador
Abertura válvula	Boletim de Operação e verificação local	Operador e Inspector
Valor da produção	Boletim de Operação	Operador
Tempos subida e descida	Cronómetro	Mecânico hidráulica
Número ciclos acumulados	Histórico	Doutorando
Nível de contaminação	Amostras e filtros	Lubrificador e Laboratório
Desalinhamento	Verificação local	Mecânico
Consumo corrente	Amperímetro	Electricista
Número de arranques	Histórico	Doutorando
Maus contactos	Verificação local	Instrumentista
Nº ciclos p/ un. tempo	Verificação local	Instrumentista
Ligação actuador/válvula	Verificação local	Instrumentista
Qualidade do ar	Verificação local	Instrumentista e electricista
Temperatura de celas	Termómetro	Electricista
N.º de rearmes	Histórico	Doutorando
Limpeza dos sensores	Verificação local	Instrumentista
Calibração	Calibrador	Instrumentista

* Foi criado no 2º semestre de 2005 no *software* da CSI usado pela Portucel Soporcel um banco de dados específico até à data inexistente para os dados das vibrações medidas nos equipamentos estáticos em estudo.

5.2.7 – Os dados obtidos

As amostras dos dados das avarias respeitantes ao grupo dos equipamentos estáticos são apresentados no subcapítulo 5.2.7.1. As amostras dos dados relativos aos grupos dos equipamentos rotativos e os de deslocamento linear apresentam-se respectivamente nos subcapítulos 5.2.7.2 e 5.2.7.3. A totalidade dos dados são apresentados em forma de tabela nos Anexos II a IX e seguem em cada caso a sequência cronológica das datas em que ocorreram. A cada uma das covariáveis consideradas é atribuída uma identificação alfabética cujo significado é apresentado imediatamente a seguir aos dados de cada um dos Anexos atrás referidos.

5.2.7.1 - Os dados para a aplicação dos riscos proporcionais aos equipamentos estáticos

As tubagens, consideradas neste trabalho como equipamentos, são usadas nesta e em outras indústrias de processo para a condução e transporte dos fluidos. As tubagens metálicas ou não não-metálicas, normalmente de secção circular, são aqui consideradas como equipamentos estáticos recuperáveis constituídos por tubos rectilíneos soldados ou flangeados entre si e por partes curvas que lhes permitem o traçado mais adequado a cada caso concreto. As tubagens em estudo dizem respeito aos processos da lavagem da pasta e da extracção de filtrados que ocorrem nas torres do branqueamento da pasta. Atendendo ao elevado número de falhas funcionais na condução e na vedação dos respectivos fluidos foi apenas necessário recolher dados antes das avarias durante cerca de um ano ou seja entre o 2.º semestre de 2004 e o 1.º semestre de 2005. A tabela 5.4 apresenta uma amostra dos dados relativos aos modos de falha que estão associados aos processos de rotura mecânica devida ao desgaste, fadiga e ao choque.

Tab. 5.4 – Datas, tempo entre avarias e os valores das covariáveis para as tubagens

Data da avaria	Hora	Tempo (dias)	Covariáveis para as tubagens da lavagem da pasta										Localização (torre)
			A	B	C	D	E	F	K1	K	H	G	
05.07.04	08.10		0	18	1	70	3,9	18	1	1	1	40	D1.2
07.07.04	12.05	33	0	40	0	68	4	105	1	0	1	35	D0
02.08.04	15.35	28	1	6	0	47	3,5	135	0	1	0	60	D2
04.08.04	13.10	2	0	21	1	74	4,2	25	1	1	1	30	D1.1
06.08.04	08.15	2	0	13	1	70	3	18	1	1	1	40	D1.2
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

Na tabela 5.4 são também identificadas as torres onde se verificaram as avarias das tubagens não sendo, no entanto, este factor considerado à partida como uma covariável a usar. O significado das covariáveis atrás identificadas por A, B, C, D, E, F, K1, K, H e G estão de acordo com a tabela 5.3 do subcapítulo 5.2.4 e são caracterizadas no Anexo II . A amostra dos dados relativos às celas eléctricas é apresentada na tabela 5.5 onde se apresentam as datas das avarias e as covariáveis usadas.

Tab. 5.5 – Datas, tempo entre avarias e covariáveis para as celas eléctricas

Data da avaria	Hora	Tempo (dias)	Covariáveis p/ celas eléctricas							Obs
			A	D	H	O	S	S1	A1	
26.01.99			1	1	0	1	0	0	1	
19.08.99		217	1	0	1	1	0	1	0	
22.09.00		408	1	0	1	0	0	1	1	
...		...	...	...	...	...	...	...	...	
21.04.05		253	1	0	1	0	0	1	1	
10.10.05		172	1	1	1	1	0	0	0	

Neste caso as covariáveis designadas por A e S caracterizadas no Anexo III pelo facto de não terem variado durante o período da análise não foram consideradas na obtenção dos resultados. Finalmente, é apresentada na tabela 5.6 uma amostra dos dados para os equipamentos estáticos de medição em linha do PH dos fluidos da lavagem da pasta. A razão da escolha destes equipamentos, num total de 14, deve-se à sua importância na eficiência do processo produtivo e prende-se com a provável influência que podem ter na degradação dos materiais de outros equipamentos nomeadamente nas tubagens, nas válvulas de regulação e ainda por se ter verificado um elevado o número de avarias e pedidos de verificação. A tabela 5.6 apresenta uma amostra das datas das avarias, as covariáveis usadas e no Anexo IV descreve-se o seu significado.

Tab. 5.6 – Datas, tempo entre avarias e covariáveis para os sensores de PH

Data	Hora	Tempo	Covariáveis p/ os sensores					Obs	Instrumento	Pedido
			D	K3	F	H	X			
11.07.04	09.48		1	1	1	1	1		627	Desencravar
12.07.04		1	1	1	1	1	0		857	Desencravar
21.07.04		9	1	1	0	0	0		857	Desencravar
24.07.04		3	1	1	1	1	1		627	Desencravar
26.07.04		2	1	1	1	1	1		627	Desencravar
28.07.04		2	1	1	1	1	1		627	Desencravar
...		...	...	...	...	...	...			

De acordo com os dados da tabela 5.6 atrás apresentada foi o encravamento ou colmatação o principal modo de falha responsável pelos pedidos de intervenção da manutenção. O significado das covariáveis usadas estão também de acordo com a tabela 5.3 do subcapítulo 5.2.4. Neste caso não foi considerado à partida que as condições de funcionamento após o período de arranque da instalação tivesse uma relação com as avarias verificadas.

5.2.7.2 – Os dados para a aplicação dos riscos proporcionais aos equipamentos rotativos

São considerados equipamentos rotativos todos aqueles que no desempenho da sua função operacional possuem movimento de rotação como é o caso das bombas hidráulicas de pasta e dos respectivos motores eléctricos que as accionam. Estes equipamentos possuem componentes rotativos, chamados de rolamentos, que lhes permitem o movimento de rotação. No caso das bombas existe um outro tipo de componente estático/rotativo, chamado de empanque, que lhes permite a vedação do fluído que bombeiam neste caso a pasta. É uma boa prática o controlo da condição dos rolamentos o controlo da condição do empanque que deve ser efecutado através de rotinas sistemáticas ou através de dispositivos automáticos de regulação da água de vedação/refrigeração. As bombas conjuntamente com os motores eléctricos são designados por grupos electro-bomba constituem um dos mais importantes sistemas das industrias de processo. As bombas hidráulicas estão também intimamente ligadas às tubagens e por esta via permitem a condução e a transferência dos fluido de uma localização para outra. A tabela 5.7 apresenta uma amostra das datas das avarias verificadas, o intervalo de tempo em dias decorrido entre elas e as covariáveis consideradas, de acordo com a tabela 5.3 do subcapítulo 5.2.4 e o Anexo V, para as 6 bombas que constituem o processo de transferência do branqueamento da pasta.

Tab. 5.7 – Datas, tempo entre avarias e covariáveis para as bombas de pasta

Datas das avarias	Covariáveis para as bombas de pasta do branqueamento									Localização
	Tempo	A	B	D	H	I	K2	X	X1	
13.01.99		1	0	1	0		0	1	1	P062
09.06.99	147	1	0	0	0		1	0	0	P102
...	...	...	...	...	...		...	...	...	
07.10.04	69	1	1	0	0		1	1	1	P102
22.05.05	227	0	0	0	0		0	0	0	P062

As covariáveis de localização X e X1 da tabela 5.7 foram consideradas porque se pensa que a parte estática do equipamento rotativo associada à água de vedação pode influenciar muitas das avarias extrínsecas que ocorreram nos equipamentos. O factor I correspondente à covariável “valor da produção” no momento imediatamente anterior à avaria tendo sido inicialmente admitido mas não foi considerado porque a(s) bomba(s) hidráulicas estão concebidas para trabalhar nos diferentes regimes de produção.

Segue-se na tabela 5.8 uma amostra dos dados relativos às datas, aos intervalos de tempo entre as avarias e às covariáveis consideradas para os motores eléctricos que accionam as bombas de pasta. No seu desempenho operacional considera-se relevante a condição dos rolamentos que suportam o rotor bem como a bobinagem do estator que recebe a energia eléctrica e a transforma, por indução, em energia mecânica.

Os motores eléctricos são equipamentos electromecânicos pelo que o nível de vibração, a temperatura e a magnitude do valor da corrente eléctrica consumida, também responsável pelo envelhecimento do isolamento eléctrico, são as covariáveis a considerar à partida.

Tab. 5.8 – Datas, intervalos de tempo entre avarias e covariáveis p/ os motores

Datas das avarias	Covariáveis p/ motores eléctricos									Acção	Localização	Tempo (dias)
	Hora	A	B	D	H	I	O	P	X			
27.01.99		1	0	1	1		1	0	0	Substituição	P041	
06.07.99		0	0	0	0		1	0	0	Substituição	P102	160
01.09.99		1	0	0	0		1	1	1		P102	63
...		...	...	...	...		...	...	...			
14.07.04		1	0	1	0		1	1	1	Substituição	P082	256
14.01.05		1	1	0	0		0	0	1	Substituição	P062	184
23.05.05		1	1	0	0		0	1	0	Substituição	P062	129
02.09.00										Censura	P122	

O significado das covariáveis para o caso dos motores eléctricos segue também o critério da tabela 5.3 do subcapítulo 5.2.4 e são caracterizadas no Anexo VI.

Finalmente, apresenta-se na tabela 5.9 uma amostra dos dados obtidos para o único transportador de pasta por tela o C800 classificado como crítico na área do branqueamento.

Tab. 5.9 - Datas, intervalos de tempo entre avarias e covariáveis p/ transportador

Meses	Dias	Intervalos tempo (dias)	Modo de falha	Var. produção	Outros modos falha		Var. consist.
			Desalinha. <i>Survival</i>		Cond. rolos	Outros	
Dez-04	31		0	0	1	0	
Jan-05	1	1	1	0	0	1	1
	20	19	1	0	0	1	1
	21	1	1	0	0	1	1
	...	...	...	...	...	...	...

Foram consideradas as covariáveis apresentadas no Anexo VII designadas por desalinhamento, variação da produção, condição mecânica dos rolos e, também, a variação da consistência da pasta a transportar. Refere-se também que este equipamento por se localizar no final do sistema de produção (*out-put* de produção da área fabril) em caso de paragem provoca, automaticamente, a paragem total da área fabril.

5.2.7.3 – Dados para a aplicação dos riscos proporcionais aos equipamentos com movimento linear

Inserem neste grupo de equipamentos os cilindros óleo-hidráulicos e as válvulas automáticas. Apresenta-se na tabela 5.10 uma amostra dos dados das avarias verificadas nos cilindros óleo-hidráulicos.

Tab. 5.10 – Datas, intervalos de tempo e covariáveis para os cilindros óleo-hidráulicos

Datas	Hora	Tempo	Covariáveis p/ cilindros óleo-hidráulicos												Obs
			A	I	J~J1	L	M	N	Z	W	Y	H	K2	V~v	
10.07.04	12.05		1	30	0	0	0	0	1	0	7,9	1	0	0	D11 2
27.07.04	09.55	17	1	31,5	1	1	1	0	1	0	7,5	0	0	0	E12 4
28.07.04	08.35	1	1	63	0	1	0	0	1	1	9,4	0	0	0	E2 4
30.07.04	09.10	2	0	26,5	0	1	1	1	1	0	7,8	0	1	1	D12 3 Subst
10.08.04	10.10	11	0	57	0	1	1	1	1	1	10,3	0	1	0	D0 3 Subst
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	

O significado das covariáveis para os cilindros óleo-hidráulicos segue, como nos casos anteriores, o critério adoptado na tabela 5.3 do subcapítulo 5.2.4 e neste caso são caracterizadas no Anexo VIII. As covariáveis escolhidas para além de identificarem se a avaria ocorreu ou não durante o funcionamento normal relacionam-se, também, com o número de ciclos efectuados e acumulados pelos equipamentos; a condição do fluido

hidráulico antes da avaria (através da existência ou não de filtros substituídos); o diferencial da pressão hidráulica entre as duas câmaras do(s) cilindro(s) hidráulico(s) e, também, com a relação entre a velocidade da subida imposta ao(s) referidos cilindro(s) hidráulico(s) pelo operador da produção e a velocidade da pasta no interior das torres do branqueamento que por sua vez é uma função do nível da produção processada.

Com base nas covariáveis J`s e V`s foram calculados os indicadores de referência “j” e “v” e, assim, por serem interdependentes apenas foi considerada uma ou a outra.

Finalmente, apresenta-se na tabela 5.11 uma amostra dos dados recolhidos relativos aos valores que as covariáveis escolhidas tomaram para as 25 válvulas automáticas do sistema de lavagem da pasta e extracção de filtrados da área do branqueamento da pasta para papel.

Tab. 5.11 – Datas, intervalos entre avarias e covariáveis para as válvulas automáticas

Data	Tempo	Covariáveis p/ as válvulas automáticas									Pedido	Obs	Componente
		A	B	H	K3	R	S	T	G	Anel			
14.07.04		1	10	1	1	1	1	1	71	510	Não fecha	Extr	Actuador
24.07.04	10	1	4	1	0	0	1	1	48	739	Não fecha	Lav	Detector
25.07.04	1	0	3	1	0	0	1	1	34	865	Não fecha	Lav	Detector
02.08.04	8	1	3	0	0	1	1	0	100	584	Substituir	C.L.	Válvula
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...				

Estas válvulas automáticas *on-off* ou de abertura variável fazem partes de anéis de regulação e actuação sobre o controlo do processo nomeadamente sobre os caudais do fluido da lavagem. As covariáveis escolhidas também de acordo com a tabela 5.3 do subcapítulo 5.2.4 são caracterizadas no Anexo IX e relacionam-se com o nível de vibração medido em função do seu modo de funcionamento (*on-off* ou de controlo variável), localização no sistema de lavagem, valor da abertura do obturador da válvula e também o número de ciclos de funcionamento acumulado. Para além das covariáveis é também apresentado o tipo de pedido feito pelo operador da produção acerca da ocorrência da anomalia.

Nos Anexos de II a IX são apresentados, como já atrás ficou referido, os significados de cada uma das covariáveis consideradas para cada uma das famílias (grupos) de equipamentos estáticos, rotativos e lineares estudados.

5.3 – Os dados observados para o modelo das filas de espera (QM)

5.3.1 – Enquadramento

Tomando as características do contexto operacional apresentadas no subcapítulo 4.1.5 e 4.1.6 apresenta-se nesta parte do trabalho os dados para a aplicação do modelo das filas de espera ao dimensionamento dos recursos dos serviços da manutenção da linha de produção de pasta. A produtividade dos serviços prestados na reparação das avarias dos equipamentos assume um papel determinante na competitividade da Organização. As operações e o tempo total gasto (duração) nas reparações influenciam a disponibilidade dos equipamentos produtivos assim como os custos operacionais e traduzem uma parte substancial da eficiência operacional. Se, por um lado, um elevado número de recursos pode conduzir a um atendimento mais rápido dos equipamentos avariados pode, por outro lado, conduzir a um aumento dos custos operacionais e a uma menor produtividade. Surge, assim, um interessante *trade-off* entre o nível de serviço da manutenção necessária aos equipamentos produtivos e a capacidade de atendimento tendo em consideração que o preço de mercado de cada hora de produção chegou a atingir os 30.000 €/hora e que a linha de produção de pasta pelo processo Kraft da unidade industrial da Portucel Soporcel possui cerca de 1500 accionamentos eléctricos em operação para uma capacidade máxima instalada perto das 520.000 TAD/ano.

O funcionamento contínuo dos equipamentos considerados é, também, assistido no que diz respeito aos pequenos trabalhos urgentes e às eventuais reparações provisórias durante o período nocturno e nos fins-de-semana por turnos contínuos rotativos com a dimensão “mínima” nas especialidades atrás referidas os quais, por razões óbvias, não se justifica agora considerar no âmbito deste trabalho. Para além da equipa mínima atrás referida existe ainda uma equipa multidisciplinar de assistência mas ausente das instalações fabris que pode ser chamada a qualquer momento para maiores reparações eventuais a efectuar e que exigem mais do que um técnico de manutenção da mesma especialidade. Pelo atrás exposto é durante o período compreendido entre as 8h00 e as 17h00 de segunda a sexta-feira que se verifica o maior número de pedidos de reparação e, consequentemente, maior volume da actividade operacional da manutenção justificando-se, assim, estudar as operações e dimensionar os respectivos recursos operacionais.

Para o dimensionamento das equipas dos serviços de manutenção foram determinados os intervalos de tempo entre as chegadas dos pedidos de reparação da área do branqueamento e de toda a linha de produção de pasta para se encontrar uma aceitável distribuição de probabilidade que as represente. Faz-se a análise dos tempos entre chegadas e dos tempos de reparação através do teste do χ^2 nos diferentes equipamentos cuja dimensão sendo da ordem dos milhares se consideraram infinitos.

5.3.2 – A forma e pressupostos na obtenção dos dados

Os serviços de manutenção da produção da pasta para papel são assegurados por três grandes áreas de especialização operacionais: a mecânica, a electricidade e a instrumentação. Assim, à data da obtenção dos dados verificava-se que no atendimento das avarias dos equipamentos da linha de produção de pasta eram usados recursos operacionais dedicados nos serviços de electricidade (sml1ele) e instrumentação (sml1inst). No serviço mecânico o atendimento dividia-se em duas zonas operacionais designadas por sml1amec e sml1bmec. Os pedidos das reparações efectuados pela produção ou pela manutenção através do sistema CMMS (SAP/R3) são, à partida, dirigidos a um dos três principais serviços de manutenção ficando caracterizado no pedido o efeito operacional verificado no equipamento que deve ser identificado através da nomenclatura técnica da área fabril. As datas e as horas dos pedidos de intervenção são automaticamente assumidos pelo sistema SAP/R3 no momento em que é gravada a notificação do pedido de reparação.

As chegadas das notificações ou pedidos de reparação das avarias para os diferentes serviços de manutenção da fábrica da Portucel Soporcel em Setúbal são interpretados pelo sistema SAP/R3 conforme se apresenta na figura 5.24.

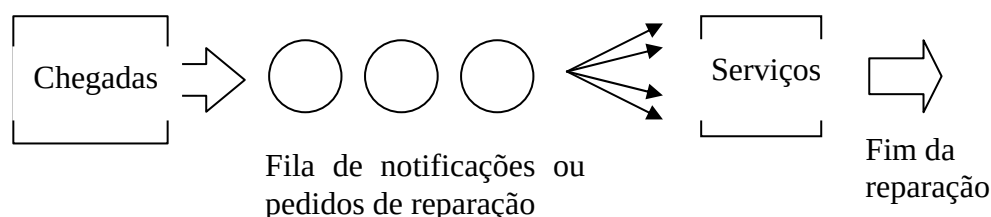


Fig. 5.24 – Chegadas dos pedidos de reparação ao CMMS (SAP/R3)

Às diversas chegadas de notificações à fila de espera única depois de “liberadas” pelo responsável operacional do serviço respectivo podem corresponder um ou mais executantes ou servidores (S) conforme é apresentado na figura 5.25.

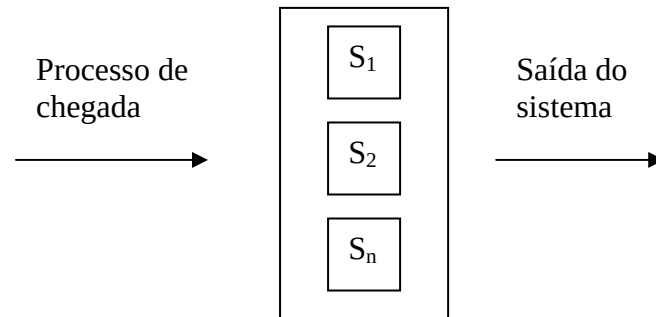


Fig. 5.25 – Sistema com fila única por serviço

Nestas condições e acordo com Tavares *et al* (1996) pp. 289 a 290 aqueles poderão ser decompostos em S_n servidores com fila única atribuída a cada um dos serviços de manutenção. O desenho do sistema de chegadas, fila de espera e atendimento corresponde então à situação real em estudo que se apresenta na figura 5.26.

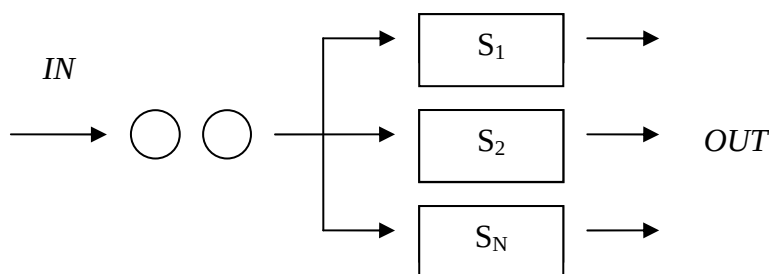


Fig. 5.26 – Modelo de fila de espera para cada serviço de manutenção

As chegadas consideradas dizem respeito aos tipos de manutenção curativa e correctiva (s011 e s012) apresentadas no sub-capítulo 1.4.1. Sendo o processo produtivo contínuo e em série onde se procura a disponibilidade e qualidade máximas os atendimentos são considerados à medida que as chegadas se vão ocorrendo. Refere-se ainda que tendo-se verificado que existem chegadas que não podem ser totalmente atendidas através de acções de manutenção do tipo “*good is new*” elas são atendidas por acções do tipo “*bad is old*” justificando-se assim serem igualmente consideradas. Estas chegadas não totalmente satisfeitas ficam no SAP/R3 na situação de “a aguardar uma paragem”.

5.3.3 – Os dados obtidos das chegadas a cada serviço de manutenção

Através do sistema SAP/R3 foram recolhidos e tratados os tempos entre cada uma das chegadas dos pedidos de reparação efectuados aos serviços mecânico, eléctrico e instrumentos. Fez-se em seguida a sua aproximação a uma distribuição estatística tendo sido razoável considerar, após o ajustamento dos dados, que a distribuição exponencial negativa pode ser representativa dos eventos considerados. A tabela 5.12 apresenta um exemplo de uma amostra das notificações efectuadas para o serviço mecânico (sml1amec) nas semanas 33 e 34 de 2004 para reparações na área do branqueamento. Na amostra apresentada podem ser identificados os números das notificações, as datas e horas em que foram solicitadas.

Tab. 5.12 – Amostra da listagem de notificações ao serviço mecânico (sml1amec)

190762	1	C	Sem 32	02-08-2004	15:33:16	SML1AMEC
190775	1	I		02-08-2004	17:00:26	SML1AMEC
190903	1			03-08-2004	16:47:58	SML1AMEC
190996	1	C		04-08-2004	13:11:04	SML1AMEC
191094	1			05-08-2004	10:32:11	SML1AMEC
10002125				06-08-2004	8:20:40	SML1AMEC
191205	1			06-08-2004	8:46:40	SML1AMEC
191229	2	C		06-08-2004	10:25:01	SML1AMEC
191377	1		(9 avarias)	08-08-2004	10:57:25	SML1AMEC
191489	1	C	Sem 33	09-08-2004	10:46:51	SML1AMEC
191490	2	C		09-08-2004	10:48:47	SML1AMEC
191491	2	C		09-08-2004	10:50:27	SML1AMEC
191492	2	C		09-08-2004	10:53:33	SML1AMEC
191579	2	C		10-08-2004	7:38:49	SML1AMEC
191582	1			10-08-2004	8:16:27	SML1AMEC
191602	2	C		10-08-2004	10:11:05	SML1AMEC
191690	1			11-08-2004	10:44:14	SML1AMEC
2031835				11-08-2004	14:27:48	SML1AMEC
191818	1	C	(10 avarias)	12-08-2004	14:01:22	SML1AMEC

Depois de ordenadas as datas das notificações das avarias solicitadas reparar e considerando que elas dizem respeito ao horário geral de trabalho, ou seja entre as 8h00 e as 17h00, foram calculados usando o Excel os intervalos de tempo e os tempos acumulados dos eventos. Assim, a exemplo dos dados relativos a Julho de 2004 apresentados na figura 5.27, fez-se em primeiro lugar a verificação da lineariedade entre os intervalos de tempo acumulados entre as avarias e o número correspondente de eventos acumulados.

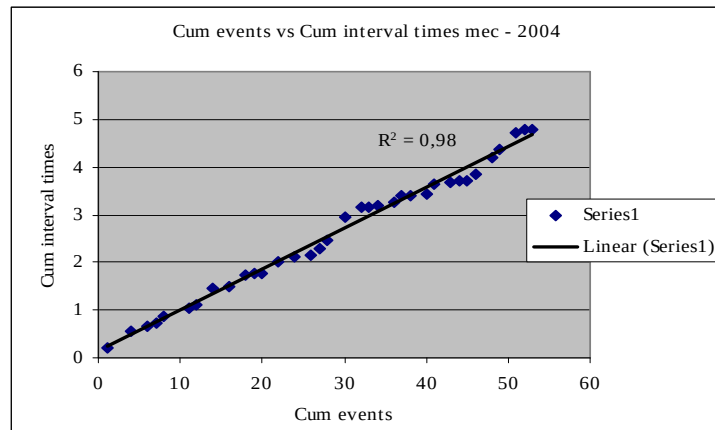


Fig 5.27 – Verificação da linearidade *inter-arrival time* e *events*

Foi verificada a razão entre o valor da média dos intervalos de tempo (04h 02min) e o desvio padrão (03h 49min) entre Julho e Outubro de 2004 que tomou o valor de 1,057. A mediana de 3h 22min é assim inferior ao valor da média dos dados do mesmo período de tempo. Fez-se ainda a verificação da tendência da linearidade através da relação entre os tempos i acumulados de cada intervalo e os respectivos eventos cuja taxa tomou o valor aproximado a 0,16 conforme se apresenta na figura 5.28 e que corresponde a um valor horário aproximado de 4h00.

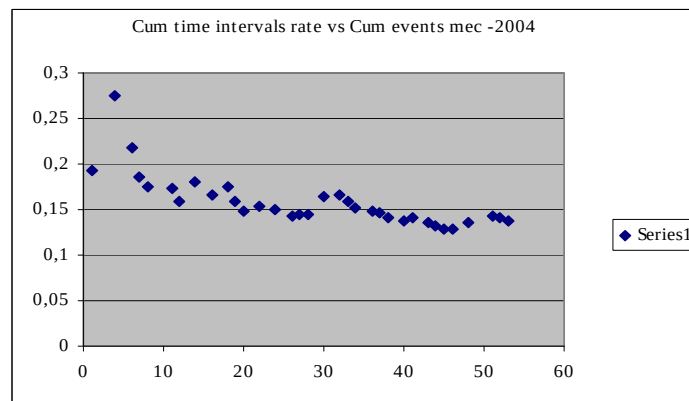


Fig. 5.28 – Verificação da linearidade *time events rate* e *events number*

Assim, verificadas as condições de linearidade e de acordo com o subcapítulo 2.3.3 e 3.3 calculou-se que o valor da taxa das chegadas (λ_{mec}) verificadas na amostra para o serviço de manutenção mecânica é, no período de tempo considerado, de 0,25 correspondendo a um tempo médio entre chegadas (MTBF) de 4h00.

Recorrendo agora à expressão (3.10) respeitante à função de densidade de probabilidade da distribuição de Poisson foram calculadas conforme se apresenta na tabela 5.13 as probabilidades das chegadas para um período de 8 horas correspondente ao horário normal de trabalho das 8h00 às 17h00.

Tab. 5.13 – Probabilidades das chegadas ao serviço mecânico

x	$\lambda t = 2$	t = 8	$\exp(-\lambda t)$	x!	f(x)
0	2	1	0,135335283	1	0,135335283
1	2	2	0,135335283	1	0,270670566
2	2	4	0,135335283	2	0,270670566
3	2	8	0,135335283	6	0,180447044
4	2	16	0,135335283	24	0,090223522
5	2	32	0,135335283	120	0,036089409
6	2	64	0,135335283	720	0,012029803
7	2	128	0,135335283	5040	0,003437087
8	2	256	0,135335283	40320	0,000859272

Neste caso o número médio de eventos por unidade de tempo é de 2 e o tempo de 8 horas retirando-se da tabela 5.13 que existe maior probabilidade de ocorrer no período entre 1 a 3 avarias mecânicas na área do branqueamento. A figura 5.29 representa gráficamente a densidade da probabilidade do número de chegadas de notificações diárias de avarias dos equipamentos da área do branqueamento da pasta para o serviço de operações mecânicas (sml1amec) no 2º semestre de 2004.

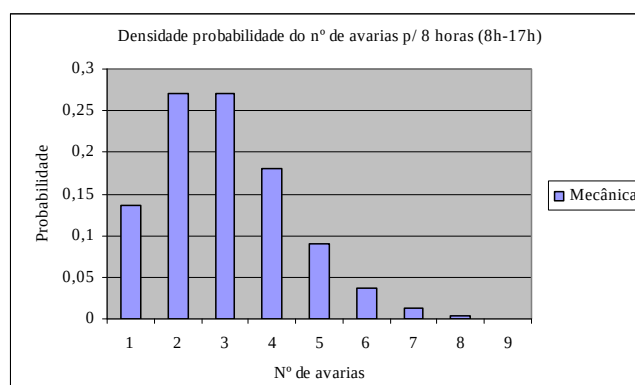


Fig. 5.29 – Probabilidade do número diário das notificações de reparação

Considerando a semana útil de trabalho como sendo a unidade de tempo mais usada em manutenção industrial para a avaliação do *backlog* apresenta-se na figura 5.30 a densidade de probabilidade das notificações de avaria para esse período de tempo.

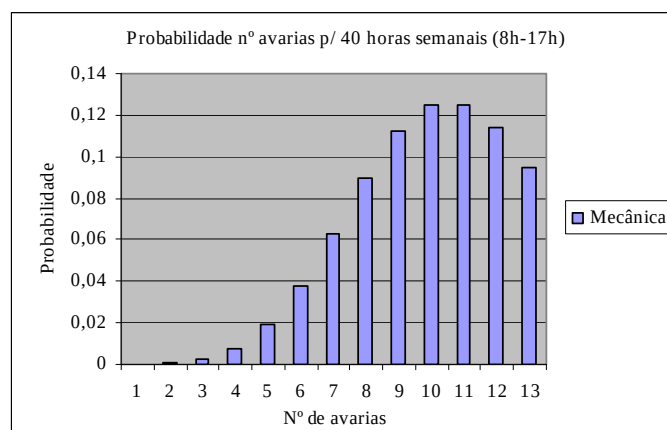


Fig 5.30 - Probabilidades do número semanal de notificações de reparação

Conclui-se que o resultado mais provável entre 10 e 11 pedidos de reparação é coerente com os dados da amostra da tabela 5.12. Assim se procedeu para os restantes serviços de manutenção apresentando-se na tabela 5.14 um exemplo de uma amostra das notificações efectuadas através do sistema SAP/R3 agora relativos ao 1.º semestre de 2005 para o serviço de electricidade (sml1ele).

Tab. 5.14 - Amostra da listagem de notificações ao serviço de electricidade (sml1ele)

220603	2	Sem 19	03-05-2005	10:08:00	SML1ELE
220813	1	(2 avarias)	05-05-2005	9:16:00	SML1ELE
2034113		Sem 20	09-05-2005	10:29:19	SML1ELE
221260	1		09-05-2005	23:38:00	SML1ELE
221261	1	(3 avarias)	09-05-2005	23:40:00	SML1ELE
222034	2	Sem 21	19-05-2005	8:38:00	SML1ELE
2034215			20-05-2005	13:19:09	SML1ELE
222276	1	(3 avarias)	22-05-2005	13:15:00	SML1ELE
222423	1 C	Sem 22	23-05-2005	14:53:00	SML1ELE
222429	2		23-05-2005	15:28:00	SML1ELE
222458	1 I	(3 avarias)	23-05-2005	19:16:00	SML1ELE
223098	1 I	Sem 23	30-05-2005	0:55:00	SML1ELE
2034281	C		31-05-2005	0:00:00	SML1ELE
223696	1	(3 avarias)	03-06-2005	8:25:00	SML1ELE
224241	1 C	24 (1 avaria)	08-06-2005	8:49:00	SML1ELE
224698	1	25	13-06-2005	10:37:00	SML1ELE
224825	1	(2 avarias)	14-06-2005	10:27:00	SML1ELE

Os equipamentos da área do branqueamento à responsabilidade do serviço de electricidade tomaram o valor da taxa de avarias (λ_{ele}) de 0,05 e são então representadas na tabela 5.15 as respectivas probabilidades de ocorrência para o período compreendido entre as 8h00 e as 17h00.

Tab. 5.15 - Probabilidades das chegadas ao serviço de electricidade

$\lambda = 0,053$					
X	$\lambda t = 8 \text{ h}$	t=8h	$\exp(-\lambda t)$		f(x)
0	0,44	1	0,644036421	1	0,644036421
1	0,44	0,44	0,644036421	1	0,283376025
2	0,44	0,1936	0,644036421	2	0,062342726
3	0,44	0,0852	0,644036421	6	0,0091436
4	0,44	0,0375	0,644036421	24	0,001005796
5	0,44	0,0165	0,644036421	120	8,851E-05
6	0,44	0,0073	0,644036421	720	6,49074E-06
7	0,44	0,0032	0,644036421	5040	4,07989E-07
8	0,44	0,0014	0,644036421	40320	2,24394E-08

A figura 5.31 apresenta as probabilidades do número das chegadas diárias de notificações de reparação para o serviço de electricidade.

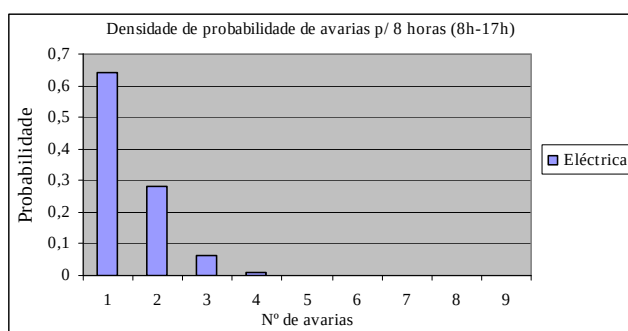


Fig. 5.31 - Probabilidade do número (n-1) diário de notificações de reparação

A figura 5.32 apresenta a densidade de probabilidade das notificações de avaria do branqueamento para o serviço de electricidade durante os períodos semanais.

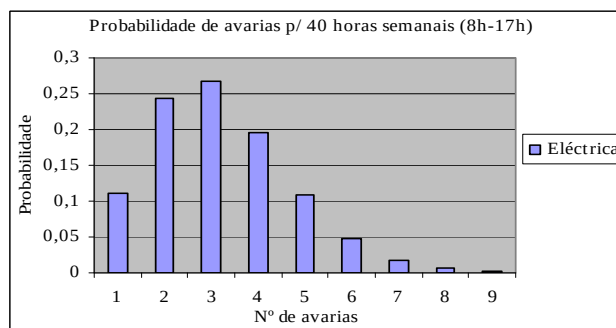


Fig. 5.32 - Probabilidade do número semanal das notificações de reparação

Neste caso o mais provável é ocorrerem entre 2 a 3 notificações semanais.

Apresenta-se agora na figura 5.33 o traçado da curva de uma amostra dos intervalos de tempo entre notificações feitas ao serviço mecânico para os equipamentos do branqueamento durante o 1.º semestre de 2005 comparada a uma curva exponencial.

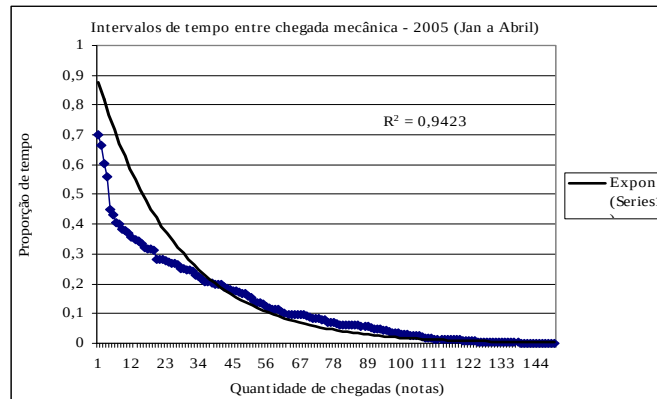


Fig. 5.33 – Intervalos de tempo entre as chegadas ao serviço mecânico

A taxa de chegadas do 1º semestre de 2005 apresentada na figura 5.34 tomou o valor aproximado de 0,14 correspondendo a um valor de 3,5 horas. Este intervalo de chegadas é próximo mas ligeiramente inferior ao verificado no 2º semestre de 2004.

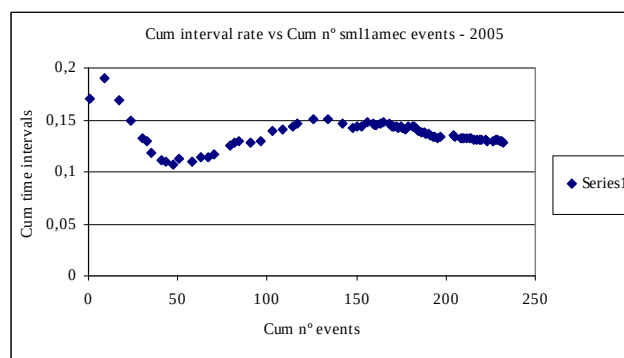


Fig. 5.34 – Taxa de chegadas no 1º semestre de 2005

Assim, depois de terem sido feitos testes do χ^2 entre os valores empíricos obtidos dos dados de 2004 e 2005 e os valores teóricos do $\chi^2_{k-1;1-\alpha}$ concluiu-se aceitável o ajustamento dos intervalos de tempo entre pedidos de reparação (chegadas) à distribuição exponencial negativa para um nível de significância de 0,90. Apresenta-se na figura 5.35 um exemplo da aplicação do teste atrás referido para uma amostra de 126 chegadas ao serviço mecânico onde o somatório calculado dos valores empíricos de $(N_j - Np_j)^2/Np_j$ foi de 9,87 e o valor teórico do $\chi^2_{8-1;0,90}$ é igual a 12,017.

Assim, aceita-se a hipótese de que os dados observados, cujos limites de cada uma das 8 classes foram determinados através da expressão $a_j = -0,25 \cdot \ln(1 - j/k)$, se ajustam com suficiente aproximação à distribuição exponencial negativa para um nível de significância de 0,10. A figura 5.35 apresenta os resultados das frequências observadas dentro dos limites de cada uma das classes.

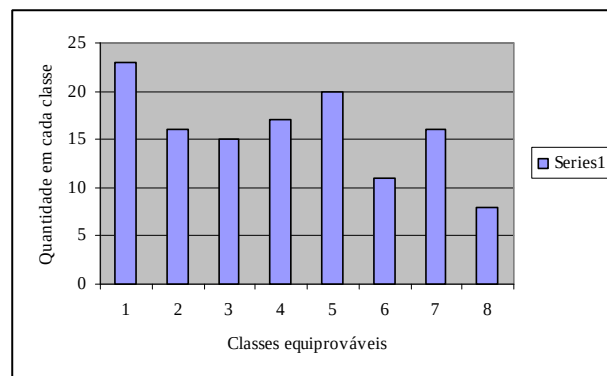


Fig. 5.35 – Frequências observadas em cada classe

A figura 5.36 apresenta a comparação entre as chegadas teóricas e as realmente observadas no período.

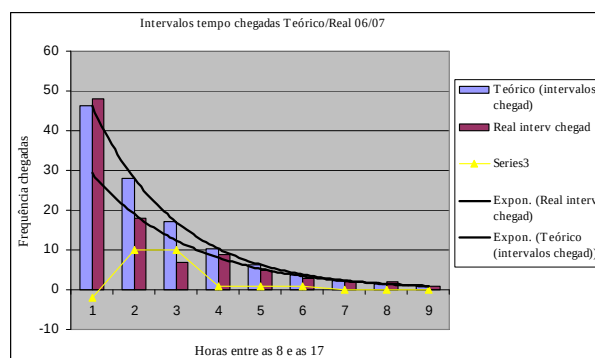


Fig. 5.36 – Comparação da frequência das chegadas dos pedidos de reparação

Verifica-se neste caso que no 3.º intervalo da classe dos tempos da figura 5.36 a frequência real das chegadas é significativamente inferior à teoricamente esperada.

Seguindo-se o mesmo procedimento atrás referido apresenta-se na figura 5.37 a comparação entre as frequências reais e teóricas mas agora para os serviços de electricidade e instrumentação.

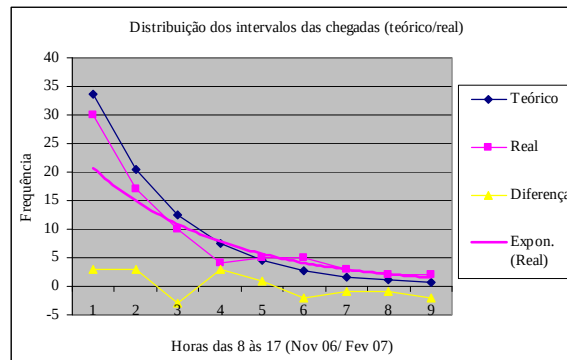


Fig. 5.37 – Comparação da frequência das chegadas dos pedidos de reparação

Assim, considerando que o processo das chegadas dos pedidos de reparação segue, com aceitável, um ajustamento a uma distribuição exponencial negativa resume-se na tabela 5.16 os resultados obtidos para a taxas das chegadas de pedidos de reparação e respectivos tempos médios entre avarias nas diferentes famílias de equipamentos da área fabril do branqueamento.

Tab. 5.16 – MTBF e a taxa de avarias/falhas (chegadas) do branqueamento

	Mecânica	Eléctrica	Instrumentação	Plásticos
Taxa de avarias e de falhas	0,25	0,053	0,11	0,04
MTBF (horas)	4	19	9	25

Os resultados apresentados representam as falhas e avarias dos equipamentos que provocaram ou não a paragem inesperada da área do branqueamento implicando em qualquer circunstância a utilização imediata de recursos Humanos dos serviços de manutenção e, por isso, não representam os pedidos de reparação para as paragens programadas da instalação. Esta situação de manutenção planeada preventiva ou correctiva será apresentada mais adiante no subcapítulo 5.4.

Finalmente também se verificou que os tempos entre as chegadas dos pedidos de reparação para toda a linha de pasta se ajustam a uma distribuição exponencial negativa e, por isso, o número avarias por unidade de tempo seguem também uma distribuição de Poisson com parâmetro λt . Assim, apresenta-se na tabela 5.17 o número anual de notificações e os tempos médios entre avarias (MTBF) verificadas na área do branqueamento correspondentes a 2000 horas de funcionamento da linha de pasta.

Tab. 5.17 – Quantidades de notificações e os MTBF's

Área(s)	Mecânica		Eléctrica		Instrumentação	
	Quant. ^{de}	MTBF	Quant. ^{de}	MTBF	Quant. ^{de}	MTBF
Branqueamento	514	4	114	19	234	9
Linha de pasta	1182	1,7	364	5,7	403	5

Até aqui foram caracterizadas e quantificadas as chegadas das notificações de trabalho efectuadas em 2004 e 2005 devido às necessidade fortuitas de reparações curativas ou correctivas consideradas no subcapítulo 1.4.1. Faltam considerar os trabalhos planeados preventivos (PM) considerados executar pelo plano de manutenção. Na área do branqueamento estas ordens periódicas de inspecção sensorial e de acções sobre os equipamentos são executadas com diferentes periodicidades (semanais, bisemanais, mensais, trimestrais, semestrais e anuais) nas várias especialidades dos serviços de manutenção e no serviço de lubrificação (inserido na especialidade mecânica). De acordo com a tabela 5.18 foram emitidas pelo sistema SAP/R3 – CMMS cerca de 500 ordens de trabalho durante um período de 6 meses (~1050 horas) no ano de 2005.

Tab. 5.18 – Trabalhos sistemáticos emitidos pelo CMMS

	Mecânica/Lub	Eléctrica	Instrumentos
Quantidade	335	80	80
MTBPM (horas)	~ 5/3	~ 10	~ 10

Estas ordens de trabalho sistemático apresentadas na figura 5.38 não têm um cariz de execução imediata, contrariamente aos trabalhos fortuitos atrás apresentados, elas devem ser executadas durante o período semanal de trabalho (segunda a sexta-feira).

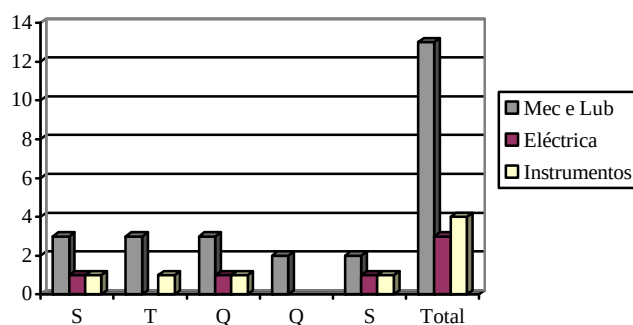


Fig. 5.38 – Distribuição semanal das chegadas (trabalhos) sistemáticas

5.3.4 – Os dados obtidos dos tempos de atendimento de cada serviço

Através do sistema SAP/R3 foram recolhidos e tratados os tempos (durações) das operações de atendimento dos pedidos de reparação efectuados aos serviços mecânico, eléctrico e instrumentação. Fez-se, ainda, a análise e a aproximação dos dados a uma distribuição estatística tendo sido razoável considerar após o seu ajustamento que a distribuição negativa exponencial é representativa dos eventos considerados. Assim, é descrito sucintamente o método usado para a caracterização dos tempos de atendimento das reparações no branqueamento e em toda a linha de pasta.

Apresenta-se na tabela 5.19 uma amostra de uma listagem recolhida do sistema SAP/R3 usado para a recolha de dados. É identificado o número atribuído a cada ordem de trabalho; são apresentados os tempos gastos por cada executante em cada uma das operações efectuadas pelo serviço sml1amec (mecânica) na área do branqueamento no dia 02.11.07 e, finalmente, as durações dos trabalhos que tiveram de ser calculadas.

Tab. 5.19 – Amostra das operações e durações do serviço mecânico (sml1amec)

Ordem	Op. ^{ção}	Data	Serviço	Executante	Durações
3272636	2,75 h	02-11	SML1AMEC	1-00009010-JOÃO RIBEIRO	
3272636	3,85 h	02-11	SML1AMEC	1-00009901-JOÃO CARROMEU	3,85
3279414	3,5 h	02-11	SML1AMEC	1-00009009-JOAQUIM PARDETE	3,50
3280143	2,08 h	02-11	SML1AMEC	1-00000185-GERALDO FERNANDES	
3280143	2,53 h	02-11	SML1AMEC	1-00009008-ANTÓNIO DIOGO	
3280143	2,53 h	02-11	SML1AMEC	1-00009009-JOAQUIM PARDETE	2,53
3280358	3,9 h	02-11	SML1AMEC	1-00009010-JOÃO RIBEIRO	
3280358	3,9 h	02-11	SML1AMEC	1-00009901-JOÃO CARROMEU	3,90
3281116	3,58 h	02-11	SML1AMEC	1-00009007-CARLOS RATINHO	
3281116	3,6 h	02-11	SML1AMEC	1-00009009-JOAQUIM PARDETE	
3281116	3,58 h	02-11	SML1AMEC	1-00009010-JOÃO RIBEIRO	3,60
3281158	3,32 h	02-11	SML1AMEC	1-00000185-GERALDO FERNANDES	
3281158	2,7 h	02-11	SML1AMEC	1-00009007-CARLOS RATINHO	
3281158	0,12 h	02-11	SML1AMEC	1-00009007-CARLOS RATINHO	
3281158	1,77 h	02-11	SML1AMEC	1-00009008-ANTÓNIO DIOGO	
3281158	3,57 h	02-11	SML1AMEC	1-00009201-LUIS SIMÕES	3,57
3281164	1,58 h	02-11	SML1AMEC	1-00009008-ANTÓNIO DIOGO	
3281164	1,23 h	02-11	SML1AMEC	1-00009008-ANTÓNIO DIOGO	2,81
3281437	3,07 h	02-11	SML1AMEC	1-00009011-MANUEL VINAGRE	3,07

Nesta pequena amostra de 8 trabalhos a média das durações dos serviços foi de aproximadamente 3,4 horas com o mínimo de 2,81 horas e o máximo 3,9 horas. Na ordem de trabalho com o número 3281158 foram utilizados 4 executantes no serviço.

Os dados depois de tratados também permitiram identificar de acordo com a tabela 5.20 que o número de Homem x hora de maior significado gastas nos equipamentos corresponderam às tubagens e aos empanques que representam cerca de 40% dos Hh`s.

Tab. 5.20 – Número de avarias vs nº de horas de reparação

Nº avarias	Equip/Compon.	t médio real h	Classific	Nº av. tm h	%	Execut. (nº)
87	Tubagens	6,7	C	582,9	0,308	2
85	Filtros	0,5	A	42,5	0,022	1
37	Bombas	5,1	B	188,7	0,1	2
32	Uniões/juntas	4,5	B	144	0,076	1
31	Empanques	6,5	C	201,5	0,106	1
24	Válvulas	4,1	B	98,4	0,052	2
21	Vedantes	4,3	B	90,3	0,048	2
17	Acumulador	3,4	A	57,8	0,03	2
16	Suportes	7,5	C	120	0,063	2
13	Parafusos	3,3	A	42,9	0,023	1
12	Outros	2	A	24	0,013	2
10	Acoplamentos	4,6	B	46	0,024	2
10	Tanques	3	A	30	0,016	2
8	Rolos	4,4	B	35,2	0,019	2
7	Cilindros	7	C	49	0,026	3
5	Tela	7,2	C	36	0,019	2
5	Utensílios	1	A	5	0,003	1
4	Hastes	8	C	32	0,017	3
4	Visores	3,5	A	14	0,007	1
3	Crivos	8	C	24	0,013	4
3	Reguladores	2,5	A	7,5	0,004	1
2	Transportador	5	B	10	0,005	2
2	Torres	4	B	8	0,004	2
2	Redutores	0,5	A	1	5E-04	1
1	Misturadores	3	A	3	0,002	3
1	Permutador	1,5	A	1,5	8E-04	2
442			26	1895,2		26

Os tempos das reparações registados no sistema SAP/R3 que correspondem aos equipamentos cujo estudo de fiabilidade se desenvolve neste trabalho através do modelo dos riscos proporcionais variaram na amostra atrás referida de 0,5 horas a 7,2 horas contemplando 442 serviços de reparação. Os tempos das reparações ou substituições apresentam algumas grandes variações nas durações de execução (atendimento) nos diferentes equipamentos. Estas variações podem ocorrer, entre outras razões, devido à variedade dos equipamentos, às competências técnicas e também podem ser afectadas pela maior ou menor eficiência do suporte logístico de apoio da estrutura organizacional da manutenção e da produção. Classificou-se por A, B e C os atendimentos em função do limite da variação do tempo durante os quais os trabalhos foram executados.

A tabela 5.21 apresenta alguns exemplos de variações verificadas nos tempos de atendimento para além do que atrás foi referido. Assim, de acordo com os dados obtidos também se verifica que a dimensão física dos equipamentos ou dos componentes a reparar influenciam o tempo necessário à execução das reparações.

Tab. 5.21 – Variações reais dos tempos (durações) de atendimento

Componente	Mecânica		Eléctrica		Instrumentos	
Acoplamento	2	8	-	-	1	2
Válvula manual	1	10	-	-	-	-
Motor eléctrico	-	-	1	9	-	-
Junta	1	10	-	-	-	-
Válvula automática	-	-	-	-	1	10
Cilindro hidráulico	2	13	-	-	-	-
Sensor	-	-	-	-	1	17

De facto a variações dos tempos de duração dos atendimentos nos casos apresentados devem-se, na maior parte das vezes, a aspectos relacionados com a dimensão física dos equipamentos ou aos itens considerados como sejam: Acoplamentos, válvulas, motores eléctricos, juntas de vedação, cilindros hidráulicos, entre outros, ou devido a dificuldades na identificação da avaria que influenciem a duração do atendimento. Os dados a seguir apresentados respeitantes a cada um dos serviços de manutenção foram retirados do sistema SAP/R3 e fazem parte de um ficheiro Excel onde foram tratados. Assim, apresenta-se na figura 5.39 uma regressão dos dados do atendimento do serviço mecânico respeitante a toda a linha de produção de pasta no final de 2005.

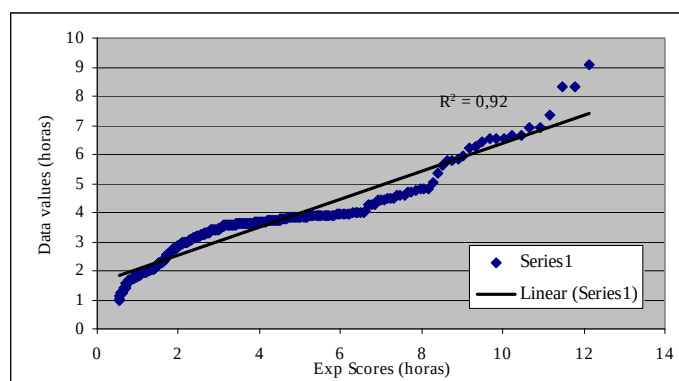


Fig. 5.39 – Durações reais vs durações esperadas

Podem ser observados dois andamentos distintos da curva apresentada na figura 5.39. Os trabalhos de reparação mecânica com durações de 1 a 4 horas e de 7 até 12 horas são os que melhor se ajustam a uma função de densidade de probabilidade exponencial negativa. Por outro lado, verifica-se que nos trabalhos mecânicos com durações compreendidas entre 4 a 7 horas ocorrem variações de cerca de 2 horas. O valor da regressão no seu conjunto é de 0,92 o que nos parece aceitável visto que a maior parte dos trabalhos mecânicos são efectuados com durações até 4 horas e tomam o valor médio de 3,75 horas. A probabilidade dos tempos de atendimento reais corresponderem a uma distribuição estatística exponencial são apresentadas na figura 5.40 e cuja variação máxima de cerca de 0,18 corresponde a uma regressão de 0,91.

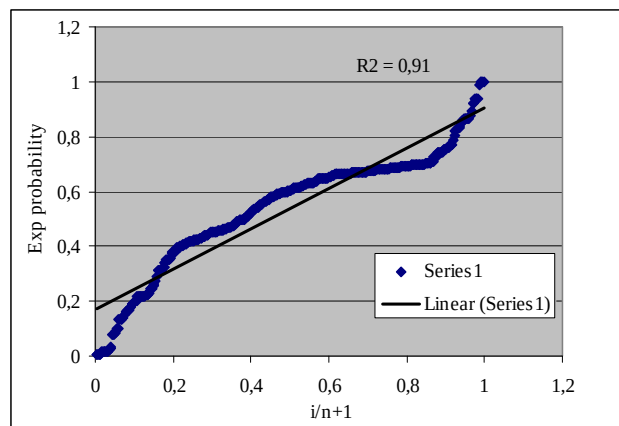


Fig. 5.40 – Probabilidades entre as durações verificadas e as exponenciais

Fez-se também outro tipo de regressão como a apresentada na figura 5.41 para o serviço de instrumentação com $R^2 = 0,97$ que relaciona o número acumulado de reparações (atendimentos) com os tempos acumulados de cada uma dessas reparações.

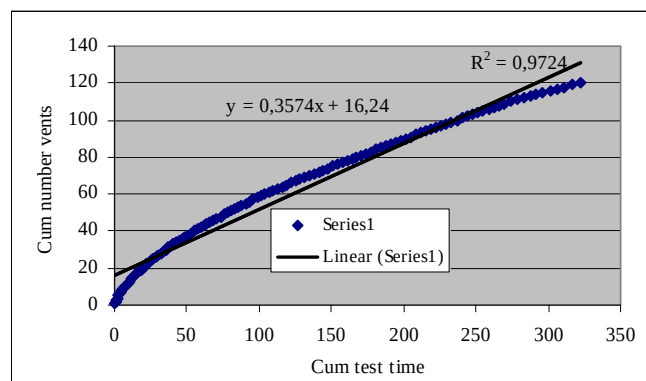


Fig. 5.41 – Linearidade entre n.º de reparações e os tempos reparação

A figura 5.42 apresenta as probabilidades dos tempos dos serviços do atendimento das reparações dos equipamentos da linha de pasta a cargo da instrumentação seguirem uma função de densidade de probabilidade exponencial. A regressão obtida foi de 0,94.

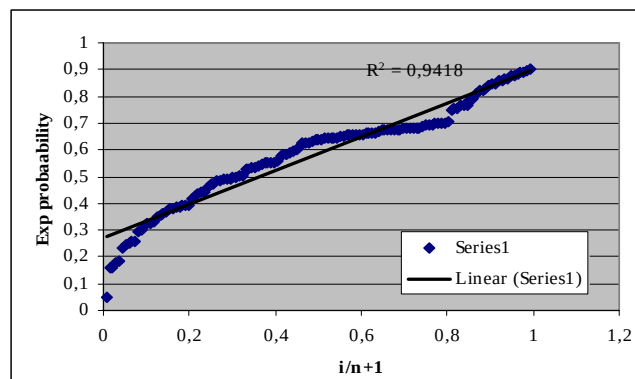


Fig. 5.42 - Probabilidades entre as durações verificadas e as exponenciais

Refere-se que outras causas que podem contribuir para as variações por vezes exageradas do tempo de duração do atendimento das notificações de avarias relacionam-se também entre outros com a logística dos materiais, a consignação dos equipamentos por parte da produção e a maior ou menor facilidade na acessibilidade aos componentes a reparar. Por isso foi possível aglutinar e atribuir uma classificação transversal a cada uma das especialidades dadas por A, B e C aos tempos das reparações e a respectiva proporção dos tempos gastos. A tabela 5.22 apresenta os resultados dos tempos médios ponderados obtidos para cada um dos grandes serviços de manutenção

Tab. 5.22 – Tempos médios de reparação e respectivas proporções por especialidade

Grupo de tempos	Mecânica	Eléctrica	Instrumentos
A	Até 3 horas		
	0,70	0,85	0,95
B	De 3 a 5 horas		
	0,25	0,15	0,50
C	Mais de 5 horas		
	0,05	-	-

Da observação dos dados retira-se que a grande maioria dos trabalhos de manutenção têm uma duração máxima de atendimento de 5 horas.

Seguiu-se para o tratamento dos dados dos tempos de serviço (atendimento) a mesma metodologia já usada para os pedidos de reparação tendo-se considerado à partida que a distribuição exponencial também representa razoavelmente os atendimentos dos principais serviços de manutenção porque as médias obtidas das diferentes amostras variaram sempre entre 3 e 4 horas e os desvios padrão entre 2,5 e 4. Assim, apresenta-se na figura 5.43 um exemplo da distribuição dos tempos (horas) de atendimento verificados numa amostra de cerca de 135 trabalhos do serviço mecânico do período compreendido entre Novembro e Dezembro de 2006 sugerindo uma distribuição exponencial, cuja regressão tomou o valor de $R^2 = 0,91$, como representativa do processo de atendimento das reparações.

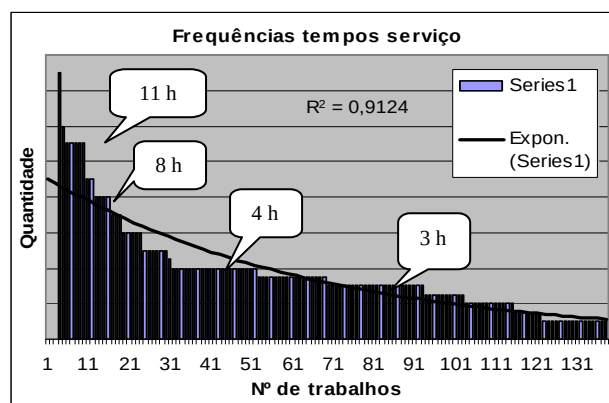


Fig. 5.43 – Tempos de atendimento dos pedidos de reparação

A figura 5.44 representa os tempos relativos ao atendimento das reparações mecânicas de uma amostra organizada de acordo com a regra de Sturges em 6 classes para que a primeira seja até 1,5 horas. Pretende-se mostrar e assim se verifica que a frequência dos trabalhos nesta classe é abaixo ao esperado devido ao facto de existirem muitos trabalhos de pequena duração sem os registos de picagens às respectivas obras.

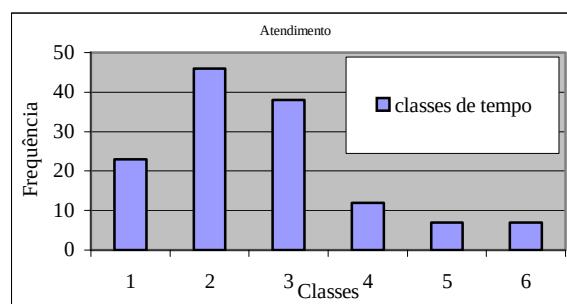


Fig. 5.44 – Trabalhos com pequena duração sem registos de picagens

Verificou-se, como esperado, que a maior parte dos trabalhos são atendidos com uma duração entre 3 a 5 horas. Nos serviços de electricidade e instrumentação o atendimento é levado a efeito em cerca de 90% dos casos em 3 horas. A figura 5.45 apresenta um exemplo da linearidade encontrada do valor taxa de reparações do serviço de instrumentação de uma amostra de Novembro de 2005 com cerca de 135 trabalhos.

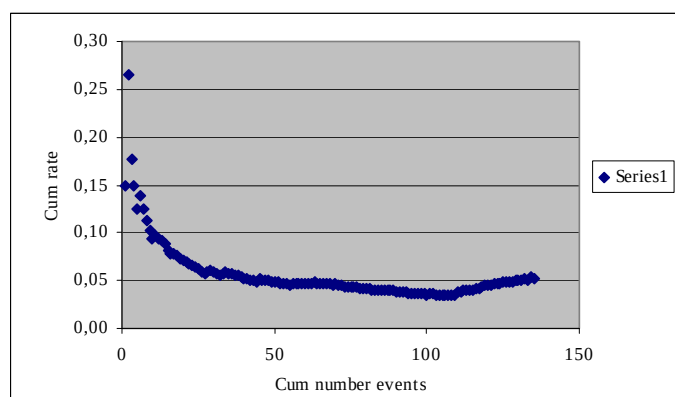


Fig. 5.45 – Linearidade dos tempos de reparação

Os tempos de reparação apresentados incluem os tempos logísticos e os de diagnóstico quando ocorrerem que adiante se verifica representarem entre 40% a 55% do tempo médio das reparações. Assim, os tempos médios ponderados a considerar no dimensionamento das equipas que podem ter mais do que um executante são os apresentados na tabela 5.23.

Tab. 5.23 – Tempos médios ponderados das reparações (MTTR) por serviço

Especialidades	Mecânica	Eléctrica	Instrumentos
Tempos ponderados	3,75 horas	3,3 horas	3,1 horas

Foram também caracterizadas com o pessoal operacional da linha de pasta as durações esperadas observar nas reparações dos equipamentos. A classificação das famílias e dos grupos de equipamentos segue a identificação técnica normalmente usada pela indústria em geral e assim caracterizaram-se os tempos activos esperados e inerentes exclusivamente às operações correspondentes às estratégias de manutenção por reparação, substituição ou inspecção sem se considerarem tempos de diagnóstico da avaria ou logísticos.

Apresenta-se na tabela 5.24 uma amostra das principais famílias de equipamentos da área do branqueamento e os tempos activos de reparação (TTR`s) estimados.

Tab. 5.24 – Principais famílias de equipamentos e tempos de reparação (TTR`s)

Equipamento	Horas de reparação/substituição		Tempo médio a considerar
	Mínimo	Máximo	
Actuador	½	1	1/2
	1	2	1
Acumulador pressão	3	4	4
Agitador	4	10	8
Bb. ^a óleo-hidráulica	½	2	1
	2	4	3
Bb. ^a centrífuga	3	6	4
Caudalímetro	½	1	1
	2	4	4
Cilindro hidráulico	3	4	4
Conversor frequência	1	2	1 ½
Disjuntor	1/6	1/2	1/4
	1	2	2
Conversores medição	1/4	1	1/2
Filtro	1/6	1/2	1/4
Indicadores posição	1/6	1/2	1/6
Instrumento em linha	1/6	1	1/2
Lavadores difusão	8	12	10
Misturador	3	8	5
Motor eléctrico	1/2	1	1
	2	4	4
Orifícios calibrados	1	2	2
Painel F. M.	1/6	6	2
Permutador	1/2	2	1
	2	6	3
Posicionador	1/6	1/2	1/4
Pressostato	1/6	1/2	1/4
...	...	...	...

Através dos dados apresentados na tabela 5.24 também validados pelos responsáveis operacionais de cada uma das especialidades bem como através de dados obtidos acerca das melhores práticas operacionais neste tipo de actividade industrial pode-se considerar que os tempos teóricos esperados relativos aos trabalhos (serviços) de manutenção corrente (AFNOR até nível 4) no branqueamento da pasta para papel da fábrica da Portucel Soporcel em Setúbal podem ser sintetizados da seguinte forma:

- Os trabalhos do serviço de instrumentação (SML1INST) têm uma duração máxima em média de 4 horas e podem corresponder a 8 Homem x hora. Por outro lado a duração mínima é cerca de ¼ da hora e pode corresponder a 0,5 Homem x hora;
- Os trabalhos do serviço de electricidade (SML1ELE) têm uma duração máxima de 6 horas e podem corresponder em média a 12 Homem x hora. A duração mínima média é também de cerca de ¼ da hora e pode corresponder a 0,5 Homem x hora;
- Os trabalhos do serviço de mecânica (SML1AMEC) têm uma duração máxima de 12 horas (salvo excepções) e podem corresponder em média a 36 Homem x hora. A duração mínima neste serviço de manutenção é também cerca de ¼ da hora correspondendo, neste caso, a cerca de 0,25 Homem x hora.

Pelo atrás exposto apresenta-se na figura 5.46 que se segue à tabela 5.25 os resultados dos tempos activos esperados (classificados de A até G) das operações para a execução dos cerca de 1200 trabalhos analisados nos diferentes serviços (classificadas de 1 a 4) da actividade da manutenção industrial no período entre as 8h00 e as 17h00 (horário normal de trabalho) e também fora deste.

Tab. 5.25 – Classificação dos tempos de execução

Classificação	Tempos (duração) em horas
A	Até 1/2
B	De 1/2 a 1 ½
C	De 1 até 2
D	De 2 até 4
E	De 4 até 8
F	De 8 até a 12
G	> 12

Os trabalhos respeitantes ao turno rotativo da manutenção (classificados de 6 a 8) não são tratados em particular por se verificar que a sua dimensão é fixa.

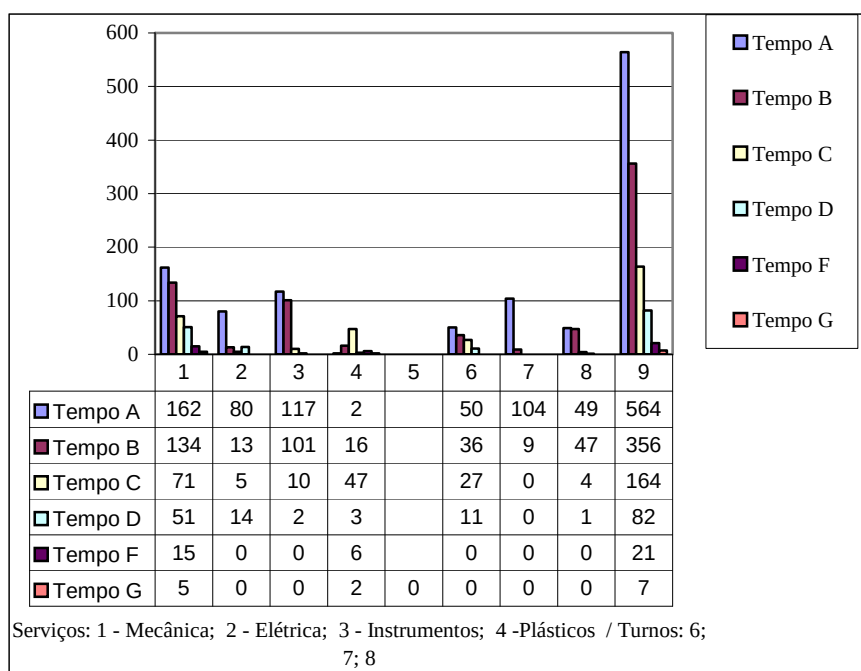


Fig. 5.46 – Tempos (duração em horas) activos e quantidade de trabalhos

Considerando o número médio do total dos trabalhos fortuitos na área do branqueamento durante as quarenta horas semanais de trabalho apresentam-se na tabela 5.26 as médias ponderadas para os tempos de reparação e as percentagens desses tempos respeitantes às operações de logística e de diagnóstico das avarias

Tab. 5.26 – Resultados obtidos para os tempos (ponderados) das reparações

	Mecânica	Eléctrica	Instrumentação	Plásticos
Quantidade máxima semanal	10	2	5	2
Tempos ponderados verificados	3,75 h	3,3 h	3,1 h	3,45 h
Tempos ponderados esperados	2,15 h	1,45 h	1,55 h	2,05 h
Diferença	1,6 h	1,85 h	1,55 h	1,4 h
Tempo (%) logístico/diagnóstico	42%	56%	50%	40%

Há ainda a considerar que na execução dos trabalhos de reparação de alguns equipamentos é necessário mais do que um executante. Este facto verifica-se devido às características do equipamento ou das operações a efectuar ou, ainda, quando é possível aumentar o número de executantes para reduzir o tempo de reparação. A tabela 5.27 apresenta o número médio máximo de trabalhos semanais na área do branqueamento e a respectiva proporção dos trabalhos em cada uma das especialidades com apenas um executante.

Tab. 5.27 – Proporção do número de trabalhos de reparação com um executante

Especialidades	Mecânica	Eléctrica	Instrumentação
Quantidade total de trabalhos semanais	10	2	5
Proporção	30 a 35%	70 a 80%	

No serviço mecânico em cerca de 50% a 55% dos trabalhos de reparação o respectivo serviço é efectuado por dois técnicos executantes o mesmo acontecendo no serviço de electricidade e instrumentação em cerca de 20% a 25% dos trabalhos. Assim, os serviços de atendimento, a exemplo do mecânico, devem estar configurado em termos de capacidade dos servidores da forma como se apresenta na figura 5.47 para poder responder aquela realidade operacional.

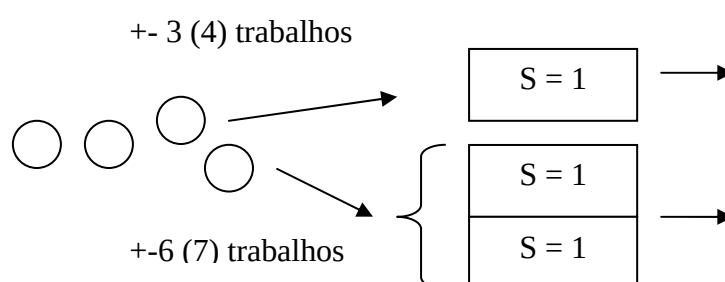


Fig. 5.47 – Sistema fila única multi-canal com aglutinação de servidores

De notar que o caso da manutenção industrial difere dos casos normalmente apresentados em estudos de atendimento através das filas de espera, como por exemplo das caixas de supermercado, nas portagens, no transporte viário, etc, pois nestes apenas é necessário, normalmente, um servidor (executante) para cada atendimento.

5.4 – Os dados observados para o modelo de subcontratação

5.4.1 - Introdução

Podem ser identificadas três situações distintas que justificam a oportunidade de subcontratação em paragens programadas ou para além destas. Duas das situações dizem respeito, respectivamente, à manutenção curativa e correctiva corrente e à manutenção preventiva sistemática até ao nível 4 da norma AFNOR X 60-010 e a terceira situação às grandes revisões de manutenção aos equipamentos. A primeira situação contempla os trabalhos nos equipamentos produtivos que aguardam reparação definitiva durante uma paragem programada ou de oportunidade da área fabril e também os trabalhos curativos ou correctivos que afectam o *backlog* dos serviços de manutenção por não necessitarem de paragem para execução ou por não dizerem directamente respeito aos equipamentos produtivos. São exemplo destes os trabalhos de serralharia civil (fechaduras, degraus,...), telefones, comunicações, aparelhos de elevação de cargas, iluminação, elevadores, ar condicionado, termoacumuladores, circuitos de tomadas, etc. A segunda situação contempla os trabalhos preventivos sistemáticos de inspecção sensorial ou com acções específicas de substituição que devem ser executados semanalmente de acordo com o plano de manutenção. Quando assim não acontece estes afectam tal como no caso anterior o *backlog* respectivo dos serviços de manutenção. Finalmente, a terceira situação que justifica a oportunidade de subcontratação diz respeito às grandes revisões de manutenção com paragem geral das áreas fabris com o nível 5 da AFNOR X 60-010 cuja duração e periodicidades normalmente muito mais dilatadas no tempo estão também estar de acordo com o plano de manutenção. Durante estas paragens são igualmente executados trabalhos de manutenção que aguardam por uma paragem.

5.4.2 – Os dados para as paragens programadas de curta duração

No caso dos trabalhos de manutenção que aguardam uma paragem programada ou de oportunidade dos equipamentos e da área fabril e sendo estas, normalmente, de curta duração (entre 4 e 16 horas) devido aos custos associados às perdas de produção torna-se necessário recorrer à subcontratação de serviços (técnicos executantes) para se atender, em simultâneo, ao elevado número trabalhos nos equipamentos que aguardam reparação definitiva.

Na prática, ocorrem falhas ou avarias que são reparadas provisoriamente (*bad as old*) porque os equipamentos continuam em funcionamento e para se efectuar a requerida reparação definitiva (*good as new*) é necessária a paragem programada da área fabril. A oportunidade de execução destes trabalhos ocorre também quando se verifica uma avaria imprevista que conduza à perda total das funções operacionais de um equipamento e devido à sua crítico no contexto operacional obriga a parar a área fabril.

De acordo com o subcapítulo 4.3 em 2004 ocorreram 80 avarias imprevistas que provocaram a paragem não programada da área fabril. Estes paragens ocorrem quando se verificam falhas ou avarias imprevistas nos equipamentos que conduzem à perda total ou à perda parcial das capacidades das suas funções no contexto operacional e onde não é possível sem a sua paragem e a da área fabril a reparação definitiva devido à inacessibilidade ao componente avariado ou por outro tipo de impossibilidade física e também por não ser possível, pelo menos, efectuar a chamada reparação mínima provisória.

Verificou-se através dos dados recolhidos do CMMS da manutenção, no caso o SAP/R3, que a maior ou menor quantidade de trabalhos nesta situação é proporcional à dimensão do intervalo de tempo decorrido entre duas paragens programadas. Tomando os dados já apresentados no subcapítulo 4.1.6.4 aguardaram em média em 2005 no branqueamento para reparação definitiva 12 equipamentos e o máximo de 20 no conjunto de todos os serviços de manutenção.

Assim, apresenta-se na tabela 5.28 o número médio do total anual dos trabalhos que aguardaram a paragem do branqueamento no período de 2004 a 2005.

Tab. 5.28 – Número médio de trabalhos a aguardar paragem por ano

2004 / 2005	Mecânica	Eléctrica	Instrumentos	Plásticos
Total ~ 100	59	10	19	12

As quantidades médias de trabalhos entre paragens da área do branqueamento e de toda a linha de produção de pasta são as que se apresentam na tabela 5.29.

Tab. 5.29 – Quantidades mínimas e máximas de trabalhos a aguardar uma paragem

Área(s)	Mecânica	Eléctrica	Instrumentação
Branqueamento	1	0	1
	7	1	2
Linha de pasta	10	2	4
	20	4	6

Considerando o facto de que existe semanalmente um número mínimo e máximo de trabalhos que aguardam paragens programadas dependendo do maior ou do menor intervalo de tempo decorrido entre elas então aqueles trabalhos podem ser representados através de uma função de densidade de probabilidade do tipo uniforme ou rectangular para um período de tempo pré-determinado.

O tempo médio de atendimento determinado para os diferentes serviços de manutenção para os trabalhos que aguardam paragem é de cerca de 4 horas e absorvem o número médio de 2 técnicos executantes por cada trabalho. Conhecendo-se as variáveis relativas ao custo da mão-de-obra interna (C_w) e externa (C_s) para executar um trabalho optimiza-se o custo em função do *mix* de executantes necessários. A tabela 5.30 apresenta de acordo com a expressão 3.13 do subcapítulo 3.4 os dados para a determinação do custo mínimo em função número e do *mix* de executantes para a área do branqueamento.

Tab. 5.30 – Dados a usar nas paragens programadas do branqueamento

	Quantidade de trabalhos (r)	Nº trabalhos processados por hora (m)	Custo interno (C_w)	Custo contratado (C_s)	Custos fixos por executante (C_f)
Mínimo	1	-	45 €	45 €	5 €
Máximo	7	-	90 €	60 €	10 €
Média	-	(~) 0,3	70 €	50 €	7,5 €
C(n)	Número óptimo do <i>mix</i> de executantes para um custo mínimo				

Admitindo-se a situação de uma paragem programada da linha de pasta de 8 horas a tabela 5.31 apresenta em seguida os dados a usar para a aplicação do modelo.

Tab. 5.31 – Dados a usar nas paragens programadas da linha de pasta

	Quantidade de trabalhos (r)	Média de trabalhos processados por 2 executantes/hora (m)	Média do custo interno por trabalho (C _w)	Média do custo externo por trabalho (C _s)	Custos fixos por Homem/hora (C _f)
Mínimo	16	0,25	(4x12x2)	(4x10x2)	20 €
Máximo	30		96 €	80 €	

As ordens de trabalho da linha de pasta a aguardar paragem de equipamentos ou instalações representaram em média de 2% a 2,5% do total das notas de trabalho transformadas em ordens de execução e representam cerca de 480 Hh e 1 semana da média das notificações semanais efectuadas. Por outro lado cerca de 3,5% das ordens de execução em relação ao total das notificações verificaram-se estar a aguardar meios logísticos materiais ou serviços, preparação, outras situações ou em curso e neste caso representando *backlog*.

5.4.3 – Os dados dos trabalhos para execução mas em *backlog*

Considerando as cerca de 50 semanas de operação anual e subtraindo de uma a duas semanas da paragem geral das instalações durante a qual, em princípio, não são efectuadas notas de trabalhos o número médio de notificações semanais dirigidas aos serviços de manutenção da linha de pasta é cerca de 95 com uma distribuição por cada serviço de manutenção apresentada na tabela 5.32.

Tab. 5.32 – Quantidade média anual das notificações na linha de pasta

Mecânica	Eléctrica	Instrumentação	(Plásticos)	Total
2580	1100	910	180	4770

Verificou-se tal como a seguir se apresenta na figura 5.48 que no ano de 2005 o máximo das notificações activas foi cerca de 245 das quais 170 ordens de trabalho mantiveram-se em média por executar devido a aguardarem materiais, serviços externos, actualização de desenhos, preparação de trabalho e outras situações incluindo também a de “em curso”.

Das situações atrás referidas apenas constitui *backlog* dos serviços operacionais (execução) da manutenção os trabalhos que deviam estar executados mas não estão. Incluem-se também neste grupo de trabalhos todos aqueles que são gerados semanalmente e em automático através do sistema SAP (CMMS) conforme o plano de manutenção para a execução das rotinas sensoriais e das acções de manutenção.

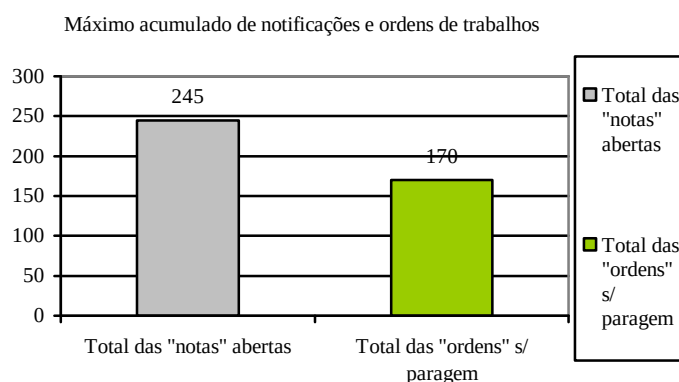


Fig. 5.48 – Máximo acumulado de notificações e ordens por encerrar na linha de pasta

Assim, através da análise dos dados obtidos verificou-se que no último ano do *outsourcing*, ou seja em 2005, existiram em processo ou em atraso cerca 3,5% das notificações efectuadas representando cerca de 600 Hh e o equivalente a 2 semanas de notificações de trabalhos. Refere-se ainda que as “notas” e as “ordens” de trabalho são encerradas, respectivamente pela produção e pela manutenção, só depois de aceite como reposta a condição dos equipamentos para o normal desempenho da sua função com a qualidade requerida. Já durante o ano de 2006 após a reestruturação da organização da manutenção referida no subcapítulo 4.5 a situação do *backlog* de cada um dos principais serviços de manutenção é apresentada na figura 5.49 até à figura 5.51.

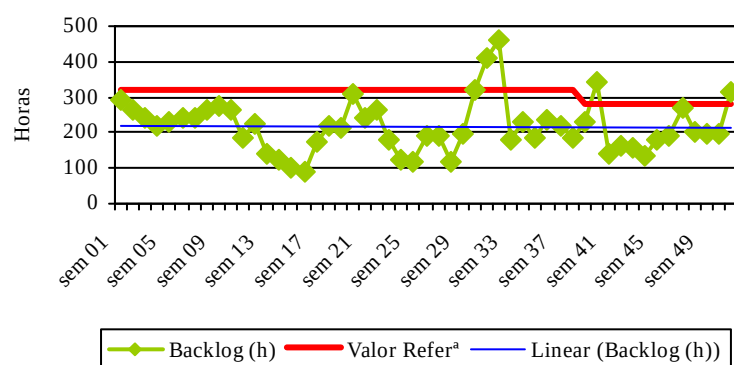


Fig. 5.49 – *Backlog*’s do serviço (oficina) sml1amec

As linhas a “cheio” das figuras atrás e adiante apresentadas representam o valor do limite máximo de referência admissível e aceite pela Portucel Soporcel na fábrica de Setúbal. Os *backlog*'s do serviço sml1bmec são apresentados na figura 5.50.

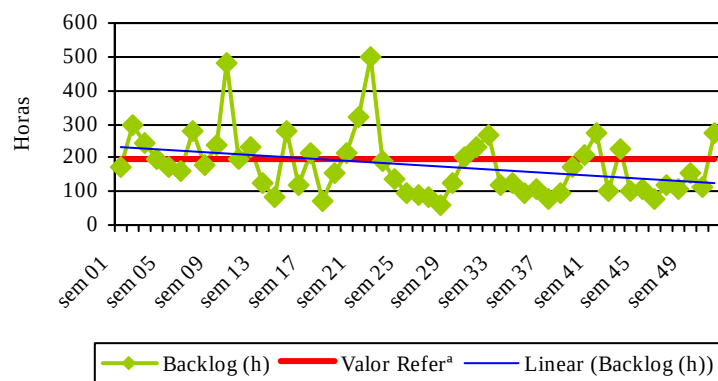


Fig. 5.50 – *Backlog*'s do serviço (oficina) sml1bmec

Finalmente, apresenta-se na figura 5.51 os *backlog*'s do serviço sml1elin correspondente à integração da oficina de electricidade com a de instrumentação que se concretizou no início de 2006 e antes designadas por sml1ele e sml1inst.

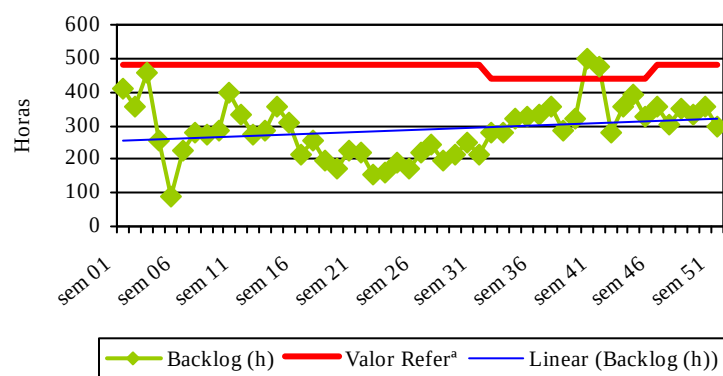


Fig. 5.51 – *Backlog*'s do serviço (oficina) sml1elin

Assim, verifica-se que não existe uma diferença significativa de Hh's respeitantes ao *backlog* do último ano do *outsourcing* calculado com base na duração média dos trabalhos determinada no subcapítulo 5.3 e após a reestruturação da manutenção. Na primeira situação o valor calculado foi de 600 Hh e em 2006 era cerca de 650 Hh. Uma grande parte destes trabalhos em atraso deve-se à carga de Hh's provenientes dos trabalhos sistemáticos do tipo s022 provenientes do plano de manutenção onde são incluídos também os trabalhos respeitantes à lubrificação. Outros são trabalhos que não dizem respeito directamente aos equipamentos produtivos.

5.4.4 - Os dados para as paragens programadas de longa duração

Na actividade da produção de pasta para papel é considerada uma paragem programada de maior duração, normalmente compreendida entre 1 a 2 semanas, para permitir a execução dos trabalhos com maior duração de verificação e revisão aos equipamentos. Estas paragens consideradas como inevitáveis principalmente por razões da prevenção da segurança do principal gerador de vapor e produtor do *smelt* que se integra no processo e, ainda, para a inspecção aos recipientes sob pressão a exemplo do(s) digestor(es) entre outros equipamentos. São ainda efectuados durante este período de tempo de paragem eventuais actualizações tecnológicas ao equipamento e, para além da execução em simultâneo dos trabalhos de revisão classificados pela norma AFNOR de nível 5, também são efectuadas lavagens e limpezas aos equipamentos específicos do processo produtivo.

Feito um pequeno enquadramento que justifica a necessidade deste tipo de paragens bem se vê o custo que estas acarretam e a sua importância na fiabilidade operacional durante o período de funcionamento até à próxima paragem geral. De acordo com a página 80 do subcapítulo 1.7.3 se por um lado as paragens programadas de pequena duração justificam a contratação de mão-de-obra para fazer face ao pico pontual de trabalho nas paragens de longa duração é prática generalizada na actividade o recurso à empreitada. Se na contratação de mão-de-obra é possível a constituição de equipas mistas de pessoal da empresa fornecedora com o dos serviços locais de manutenção nas empreitadas esta situação é diferente para tornar possível o atendimento de todos os trabalhos de manutenção em simultâneo durante o período da paragem. Neste caso são contratados serviços que envolvem na sua totalidade centenas de pessoas.

Assume, assim, uma importância fundamental para além da selecção de fornecedores uma atempada e correcta preparação, planeamento e programação dos trabalhos e durante a sua execução o acompanhamento, a fiscalização e o controlo muito apertados. De facto o problema que se coloca neste tipo de paragens para além do custo total que ronda os 5 euros/tonelada de pasta produzida onde se inclui o preço de cada uma das empreitadas é também de grande importância a garantia da qualidade da sua execução dos trabalhos e o prazo imposto pela duração prevista da paragem.

A figura 5.52 apresenta a comparação entre o número de horas e o número de pessoas necessárias na *fiber-line* para o atendimento dos trabalhos nas paragens de pequena duração designadas por lavagens e substituição de alimentadores e nas paragens gerais de longa duração.

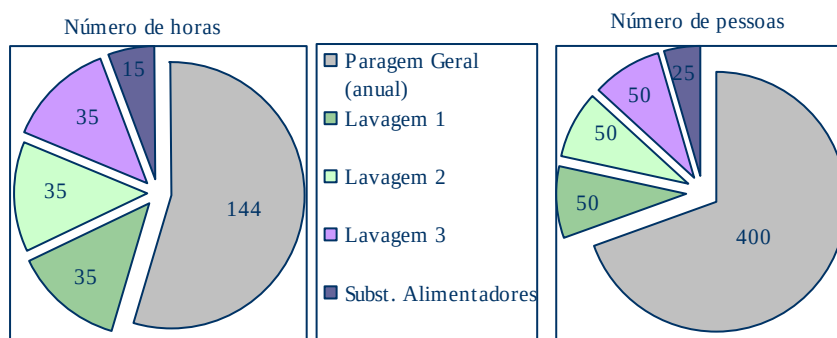


Fig. 5.52 – Comparação entre o número de horas e de executantes nas paragens

A figura 5.53 apresenta também a comparação entre os Hh`s consumidos nas paragens com os custos da mão-de-obra contratada pontualmente e o das empreitadas nas paragens gerais de maior duração.

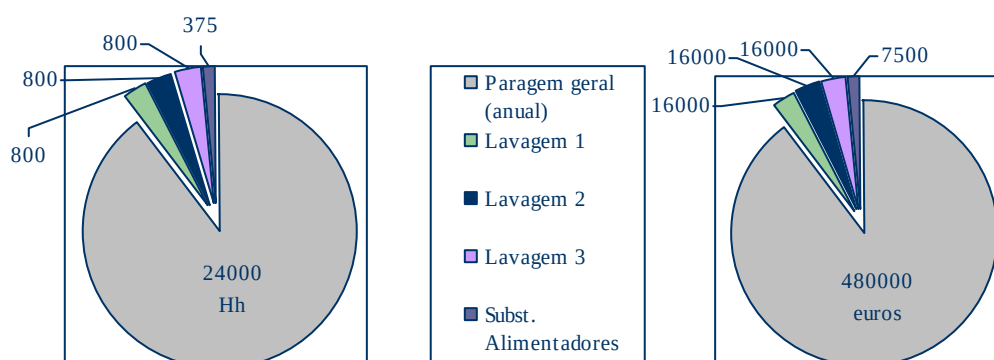


Fig. 5.53 – Comparação entre os Hh`s e os custos nas paragens

Finalmente e acordo com as figuras atrás apresentadas refere-se que em média ocorre durante um ano uma paragem geral (anual) de maior duração e entre três a quatro paragens de menor duração. Um dos aspectos a tomar em linha de conta em especial nas paragens de maior duração é o nível de qualificações dos recursos usados nas empreitadas. De facto verifica-se que também as firmas contratadas para os trabalhos de empreitada recorrem à subcontratação e ao aluguer da mão-de-obra o que torna ainda mais complicada a tarefa do contratante para assegurar o controlo da qualidade dos trabalhos previstos executar.

5.5 – Considerações, resultados e implementação de medidas

5.5.1 - Introdução

Nesta parte do trabalho apresenta-se no subcapítulo 5.5.2 algumas considerações acerca dos dados obtidos para a aplicação do modelo de filas de espera aos pedidos de manutenção da linha de pasta (*fiber line*); dos riscos proporcionais aplicados às diversas famílias de equipamentos da área do branqueamento e comuns às restantes áreas fabris e, também, acerca do modelo de subcontratação suportado pela distribuição estatística rectangular para a minimização dos custos operacionais. Faz-se ainda uma avaliação dos *value drivers* por parte do cliente dos serviços de manutenção. No subcapítulo 5.5.3 apresentam-se os resultados obtidos através dos modelos atrás referidos com base nos dados operacionais recolhidos durante o *outsourcing* entre 2004 e 2005 e as medidas posteriormente tomadas para melhorar a fiabilidade operacional. No subcapítulo 5.5.4 são apresentados os resultados operacionais já no regime de *insourcing* respeitantes ao período compreendido entre a implementação das medidas operacionais no final de 2006 e o início de 2007 até o final de 2007. Finalmente, no subcapítulo 5.6.2 fazem-se também comparações entre os resultados obtidos com os apresentados no capítulo 4.

5.5.2 – Considerações e a síntese dos dados usados

5.5.2.1 – Considerações acerca dos dados usados nas filas de espera sem memória

O valor do coeficiente de variação dos dados obtidos é próximo da unidade; a mediana é menor que a média; as regressões efectuadas entre o número acumulado de avarias com os tempos acumulados e a taxa de falhas acumuladas são aproximadamente lineares e, finalmente, a relação das probabilidades exponenciais com a ordem sequencial dos tempos de cada um dos eventos é aceitável. Assim, foram verificados os principais pressupostos para o uso das filas de espera sem memória. Verificou-se, ainda, depois de efectuados os testes de ajustamento do χ^2 com um nível de significância de 0,90 que o processo das chegadas dos pedidos de reparação e dos tempos de atendimento podem ser representados por uma distribuição exponencial negativa. Assim, resume-se na tabela 5.33 os dados relativos à taxa das chegadas dos pedidos das reparações curativas e correctivas de 2005 do branqueamento e da linha de produção de pasta (*fiber line*).

Tab. 5.33 – Taxas das chegadas dos pedidos de reparação em 2005

Áreas fabris	Mecânica	Eléctrica	Instrumentação
Branqueamento	0,25	0,053	0,11
Linha de pasta	0,588	0,175	0,2

O modelo de filas de espera (M/M/S) é aplicado tomando os dados relativos aos tempos médios entre as chegadas dos pedidos de reparação a toda a linha de pasta admitindo-se que os tempos de reparação verificados são semelhantes aos da área do branqueamento. Este pressuposto é admissível devido às semelhanças das famílias e dos tipos de equipamentos podendo até ser considerado por excessivo e, portanto, mais desfavorável devido ao contexto operacional ser mais exigente e também os tempos necessários para a acessibilidade aos equipamentos.

Considerando o número médio do total dos trabalhos curativos e correctivos (s011 e s012) na área do branqueamento e da linha de pasta solicitados a cada uma das especialidades dos serviços de manutenção durante as 40 horas de trabalho semanais e afectando-os das respectivas frequências observadas dos tempos de reparação apresentam-se na tabela 5.34 as médias ponderadas assim obtidas.

Tab. 5.34 – Resultados obtidos para os tempos (ponderados) das reparações

Durações	Mecânica	Eléctrica	Instrumentação	Plásticos
Tempos ponderados verificados	3,75 h	3,3 h	3,1 h	3,45 h
Tempos ponderados esperados	2,15 h	1,45 h	1,55 h	2,05 h
Diferença	1,6 h	1,85 h	1,55 h	1,4 h
Tempo logístico/diagnóstico (%)	42%	56%	50%	40%

Assim, os tempos logísticos e os de diagnóstico, quando ocorreram, verificaram-se representar entre 40% a 55% dos tempos médios de reparação. Há, no entanto, ainda a considerar que para o atendimento da manutenção de alguns equipamentos é necessário mais do que um executante em simultâneo.

O facto atrás referido verifica-se devido às características do equipamento ou das operações a efectuar ou, ainda, quando é possível aumentar o número de executantes para reduzir o tempo de reparação. A tabela 5.35 apresenta o número máximo de trabalhos semanais na área do branqueamento e a proporção dos trabalhos em cada uma das especialidades com apenas um executante.

Tab. 5.35 – Proporção do número de trabalhos de reparação com um executante

Especialidades	Mecânica	Eléctrica	Instrumentação
Quantidade total de trabalhos semanais	10	2	5
Proporção	30 a 35%	70 a 80%	

Na especialidade mecânica cerca de 50% a 55% dos trabalhos de reparação são efectuados por dois técnicos executantes e nas especialidades eléctrica e instrumentação isso acontece em cerca de 20% a 25% dos trabalhos. Face aos dados atrás apresentados conclui-se tomar em consideração a necessidade de 2 executantes em simultâneo pelo que o sistema de atendimento no caso da especialidade mecânica é configurado conforme se apresenta na figura 5.54.

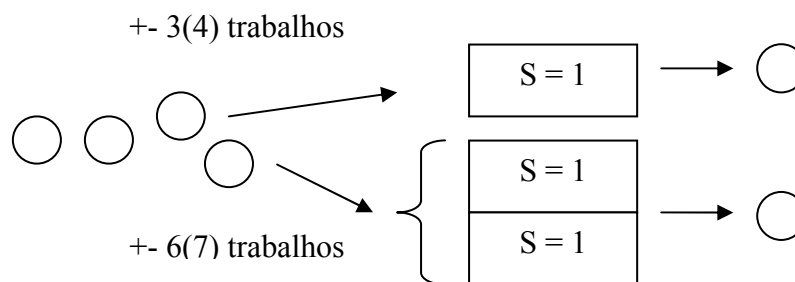


Fig. 5.54 – Sistema multi-canal com aglutinação de servidores

Finalmente, verificou-se que por se tratar de um processo produtivo contínuo os pedidos de reparação seguem, salvo excepções, uma disciplina do tipo *first-in first-out* podendo o atendimento dos serviços de manutenção processar-se por uma forma perfeita (*good is new*) ou imperfeita (*bad is old*). A excepção à disciplina atrás referida verifica-se quando a avaria provoca simultaneamente a paragem do equipamento e da área fabril ou implica com a segurança das pessoas. Estes casos têm necessariamente prioridade sobre os restantes.

5.5.2.2 – Considerações acerca dos dados usados no modelo dos riscos proporcionais

Referem-se alguns dos modos de falha que directa ou indirectamente se relacionam com a fiabilidade operacional dos equipamentos produtivos. Considerando as características do contexto operacional apresentadas no subcapítulo 4.1 as falhas e as avarias funcionais verificadas tiveram origem em modos de falha mecânicos como o desgaste, a corrosão e a vedação e modos eléctricos tais o isolamento e contactos defeituosos. O modo operativo do processo produtivo nas fases de arranque dos equipamentos é também considerado nos modos de falha. De entre as várias covariáveis seleccionadas para a caracterização do risco de avaria e, portanto, da variabilidade da fiabilidade operacional dos equipamentos referem-se como relevantes, no contexto operacional em estudo, os estados extremos provocados pelas variações bruscas de carga a que cada um dos equipamentos está submetido em situações de arranque e os tipos de manutenção preventiva, correctiva, curativa ou sob condição referidos no subcapítulo 1.4.1. A quantificação da intensidade de cada covariável quando medida no equipamento ou a presença ou ausência de um factor é verificado antes da avaria ocorrer e depois do equipamento entrar no regime de funcionamento normal. A contagem dos tempos de funcionamento é sempre interrompida desde que ocorra uma paragem por avaria e reiniciada após a reparação.

5.5.2.3 – Considerações acerca dos dados usados no modelo de subcontratação/custo

A actividade da produção de pasta para papel é caracterizada por um processo contínuo onde ocorrem paragens não planeadas devido a avarias; às paragens planeadas devidas a dificuldades diagnosticadas no processo produtivo como por exemplo a necessidade da lavagem da caldeira de recuperação e, ainda, devido às revisões gerais periódicas a alguns equipamentos críticos previstos no plano de manutenção (AFNOR nível 5). Outra situação, já referida no subcapítulo 5.4.1 mas que não carece de paragem dos equipamentos, diz respeito ao nível e à tendência dos *backlog*'s dos serviços de manutenção verificados ao longo do tempo relativamente a um valor de referência previamente considerado admissível e, assim, se poder decidir acerca da oportunidade e a necessidade ou não de subcontratar serviços por concurso e empreitada. Interessa considerar em particular os trabalhos em “carteira” dos equipamentos que aguardam

uma reparação definitiva até ao nível 5 da AFNOR em situações não planeadas ou planeadas devido ao facto de não se justificar que os serviços de manutenção estejam dimensionados para atenderem pontualmente e em simultâneo a esse conjunto de trabalhos. Assim, para um determinado nível de qualidade do serviço pretendido as variáveis que interessam considerar são os custos de mão-de-obra em regime de *insourcing* (em regime dedicado) e *outsourcing* (em reforço) em relação à quantidade de trabalhos que variam de acordo com a tabela 5.36 entre valores mínimos e máximos.

Tab. 5.36 – Quantidades mínimas e máximas de trabalhos que aguardam paragem

Áreas	Serviços de manutenção (especialidades)			
	Mecânica	Eléctrica	Instrumentação	Total
Branqueamento (<i>bleaching</i>)	1	0	1	2
	7	1	2	10
Linha de pasta (<i>fiber line</i>)	10	2	4	16
	20	4	6	30

5.5.2.4 – Considerações acerca da percepção do valor do serviço por parte do cliente

Finalmente, de acordo com o subcapítulo 2.1.2, são apresentados no quadro 5.8 os factores e indicadores muitas vezes considerados como sendo os que mais influenciam a percepção do valor (*value drivers*) das operações e dos serviços de manutenção.

Quadro 5.8 – Percepção do valor das operações de manutenção

Factores de percepção	Indicador
Velocidade de atendimento (VA)	MTTR
Fiabilidade (R)	MTBF
Competência (C')	Taxa de formação e treino
Custo (CU)	Perdas de produção
	Custo de manutenção
Tempo de resposta (T)	<i>Downtime</i> - MTTR
Flexibilidade (FL)	Taxa de polivalência
Consistência das operações (CS)	Redução do risco de avaria

Com os dois principais responsáveis da produção e assim clientes dos serviços de manutenção da linha de produção de pasta fez-se em 2005 a recolha da valorização relativa de cada um dos factores atrás referidos apresentados no quadro 5.9.

Quadro 5.9 – Valorização do cliente dos *value drivers* dos serviços de manutenção

Valor	VA	R	C	CU	T	FL	CS
2 (6%)	VA	R2	C2	CU2	VA2	FL2	CS2
7 (21%)		R	R1	R2	R1	R1	CS1
7 (21%)			C	C2	C2	C1	CS2
5 (15%)				CU	T1	CU2	CU1
1 (3%)					T	FL1	CS1
3 (9%)						FL	CS2
8 (24%)							CS

Fez-se também a análise dos possíveis conflitos dos valores de percepção através da pergunta: Qual a influência de um factor sobre o outro? A redução do custo pode influenciar negativamente a velocidade do atendimento e o tempo de resposta; a consistência do serviço de manutenção pode ser comprometida com o aumento da velocidade de atendimento; etc. Assim, a tabela 5.37 apresenta os resultados da cotação dos indicadores assim obtidos e a avaliação dos *value drives*.

Tab. 5.37 – Avaliação do desempenho de cada factor

Factores	Indicador	Influência	Cotação	Avaliação
Velocidade atendimento	MTTR	0,06	3	0,18
Fiabilidade	MTBF	0,21	3	0,63
Competência	Taxa de formação e treino	0,21	2	0,42
Custo	Perdas de produção	0,15	2	0,30
	Manutenção	0,15	4	0,60
Tempo de resposta	<i>Downtime</i> - MTTR	0,03	3	0,09
Flexibilidade	Taxa de polivalência	0,09	2	0,18
Consistência das operações	Redução do risco de avaria	0,24	2	0,48

Verificou-se que a avaliação do desempenho relativo ao tempo de resposta (T) tomou o valor de 0,09. A velocidade de atendimento (VA) e a flexibilidade (FL) com 0,18 são também bastante inferiores aos restantes factores. Em seguida surge, respectivamente, o custo (CU) das perdas de produção (directo e indirecto) com o valor de 0,30. Abaixo do valor de 0,5 surgem, ainda, as competências (C') e a consistência das operações (CS) do pessoal dos serviços de manutenção. Assim, os processos de manutenção referidos no quadro 2.2 do subcapítulo 2.1.2 e para os quais neste caso correspondem as piores avaliações de desempenho relacionam-se com os que se apresentam no quadro 5.10.

Quadro 5.10 – Processos relacionados com as piores avaliações do desempenho

Processos de manutenção	Tempo de resposta	Flexibilidade	Atendimento
Gestão de recursos humanos	x	x	-
Gestão de materiais	x	-	-
Organização operacional	x	x	x

O tempo de resposta compreende o tempo decorrido entre o pedido de reparação e o início efectivo do atendimento. Para além dos tempos de consignação que também envolvem a Produção incluem-se também os tempos de diagnóstico, os tempos de preparação do atendimento onde se incluem cerca de 40% dos trabalhos que necessitam de materiais para aplicação directa. A flexibilidade está intimamente relacionada com a polivalência dos recursos humanos e, como não pode deixar de ser, com as competências individuais e organização dos serviços de manutenção.

5.5.3 – Resultados obtidos e medidas tomadas

Apresentam-se nesta parte do trabalho os resultados obtidos através dos três diferentes modelos usados. Apresentam-se em primeiro lugar no subcapítulo 5.5.3.1 os resultados obtidos através da técnica dos riscos proporcionais PHM. Depois são apresentados os resultados da aplicação do modelo de filas de espera M/MS para o atendimento dos pedidos diários de reparação e, finalmente, os resultados do modelo de subcontratação para o atendimento dos picos de trabalho com ou sem paragem dos equipamentos. Qualquer dos modelos contribuem parcialmente para a caracterização de eventuais fragilidades operacionais e, por esta via, se procuram oportunidades operacionais de melhoria conducentes à minimização dos custos directos e indirectos.

5.5.3.1 – Resultados obtidos antes da implementação de medidas

A aplicação do modelo dos riscos proporcionais (PHM – *Proportional Hazard Model*) foi efectuada em simultâneo a um conjunto de diferentes famílias de equipamentos. Os equipamentos estáticos, rotativos e lineares da área do branqueamento da pasta e também comuns às restantes áreas fabris são semelhantes entre si cujas quantidades são apresentadas no quadro 5.11. Em algumas dessas famílias como por exemplo a dos motores eléctricos foi necessário recorrer ao seu histórico anterior ao período entre 2004 e 2005 para se dispor de um número suficiente de dados.

Quadro 5.11 – Famílias e o número dos equipamentos em estudo

Famílias de equipamentos					
Estáticos		Rotativos		Lineares	
Tubagens hidráulicas	14	Bombas hidráulicas	6	Válvulas automáticas	25
Celas eléctricas	6	Motores eléctricos	6	Cilindros hidráulicos	42
Sensores em linha	14	Transportador	1		

A totalidade dos equipamentos respeitantes à área do branqueamento representam entre 15% a 20% de todos os que operam na linha de produção de pasta e, à semelhança do que foi efectuado para os restantes equipamentos, apresenta-se, em seguida, um exemplo do resultado da análise de sobrevivência para o caso das tubagens hidráulicas. Utilizou-se o *software* desenvolvido por Pezzullo (versão de 2005) com os dados apresentados no subcapítulo 5.2.7.1. Os Anexos X a XVII ilustram, à semelhança do caso das tubagens hidráulicas do Anexo X, as sequências das “corridas” efectuadas no *software* atrás referido com os dados das avarias de cada um dos equipamentos.

Os resultados encontrados identificam pelo menos como significativas as covariáveis A, B, C, K1 e H cujo significado foi caracterizado no subcapítulo 5.2.7.1. Estas correspondem, respectivamente, às operações durante o arranque dos equipamentos (A); ao nível de vibração (B); à condição do material das tubagens (C); aos materiais usados nas tubagens (K1) e finalmente ao tipo de acção de manutenção verificada antes da paragem por avaria (H). Nesta situação a figura 5.55 apresenta a função de sobrevivência ou de risco com todas as covariáveis consideradas independentes para a família das tubagens hidráulicas dos circuitos da lavagem da pasta.

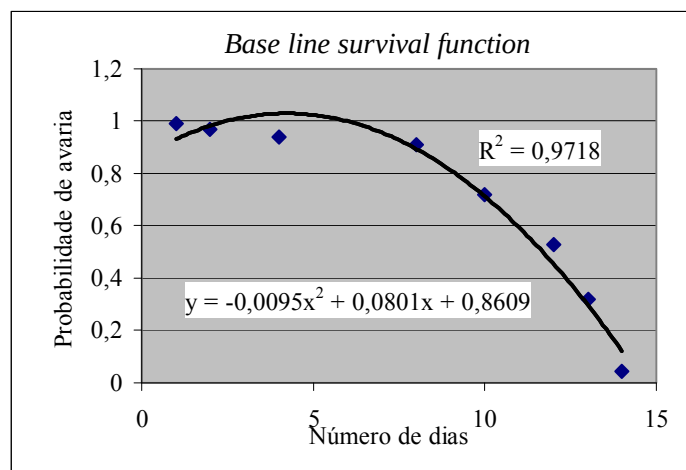


Fig. 5.55 – Função de sobrevivência das tubagens

Os coeficientes calculados com valores negativos apresentados na tabela 5.38 podem influenciar positivamente a função de risco de avaria.

Tab. 5.38 – Valor dos coeficientes significativos

Covariável	Coeficiente	P-value	StdErr
Operações da produção	- 5,02	0,0096	1,938
Nível de vibração	- 0,38	0,0065	0,14
Condição das tubagens	- 24,14	0,0063	8,839

Considerando a possibilidade de existirem alguns dos dados recolhidos duvidosos nomeadamente os da 9.^a e da 19.^a linha do Anexo X recorreu-se à sua censura. Assim, apresentam-se na tabela 5.39 os novos resultados e as covariáveis significativas.

Tab. 5.39 - Valor dos coeficientes significativos

Covariável	Coeficiente	P-value	StdErr
Nível de vibração	- 0,48	0,0125	0,192
Condição da tubagem	- 59,73	0,0035	20,467
Valor do caudal do fluido	- 0,074	0,0323	0,0344

O valor do coeficiente calculado para a covariável relativa ao caudal de fluido não atingiu pelo menos o valor duas vezes superior ao do desvio padrão pelo que não foi considerado.

Finalmente, referem-se outras covariáveis significativas com o sinal contrário ao das atrás referidas como sejam os tipos de acções de manutenção praticadas antes da avaria (H); a qualidade dos materiais usados nas tubagens (K1); a altura manométrica necessária (K) e a percentagem de abertura das válvulas de controlo (G) instaladas nas tubagens. Entre as covariáveis significativas atrás referidas com coeficientes positivos destacam-se as acções de manutenção e a qualidade dos materiais. Elas tomaram, respectivamente, os valores de 4,53 e 8,48 e, tal como as restantes, podem contribuir para a depreciação da função de risco pois comportam-se como factores multiplicativos da probabilidade de avaria das tubagens tendo em consideração os seguintes aspectos:

- As acções de detectivas de manutenção ou sejam aquelas que procuram indícios de falha (fuga) com o equipamento em funcionamento podem prevenir a sua paragem por avaria. Por outro lado as acções curativas de manutenção apenas conduzem à reparação após a paragem por avaria;
- Os materiais usados nas tubagens da lavagem da pasta são em FRP (polyester reforçado) e em aço inoxidável da qualidade AISI 304 e 316. O FRP é mais resistente a valores baixos de PH e menos resistente ao choque; o aço inoxidável é mais resistente ao desgaste e ao choque e suporta melhor que o FRP temperaturas da ordem dos 90°C. Para além da tubagem propriamente dita há ainda a considerar a qualidade dos materiais que constituem as uniões flangeadas e os materiais de adição usados nas soldaduras.

Finalmente, tomando as covariáveis A, B, K1 e H excluindo, portanto, a covariável C por representar uma condição factual do estado do equipamento, foi efectuada uma nova “corrida” no programa de cálculo de onde se obtiveram os seguintes resultados:

Descriptive Stats...

Variable	Avg	SD
1 (A)	0.2727	0.4454
2 (B)	16.3636	11.0105
3 (K1)	0.9091	0.2875
4 (H)	0.5000	0.5000

Iteration History...

-2 Log Likelihood = 98.6894 (Null Model)
-2 Log Likelihood = 86.7964
-2 Log Likelihood = 86.3651
-2 Log Likelihood = 86.3583
-2 Log Likelihood = 86.3583 (Converged)

Overall Model Fit...

Chi Square = 12.3311; df = 4; p = 0.0151

Coefficients, Std Errs, Signif, and Conf Intervs...

Var	Coeff.	StdErr	p	Lo95%	Hi95%
1 (A)	-0.8494	0.7033	0.2271	-2.2209	0.5220
2 (B)	0.0152	0.0233	0.5136	-0.0303	0.0608
3 (K1)	-0.9166	0.8755	0.2951	-2.6238	0.7905
4 (H)	1.3428	0.6230	0.0311	0.1279	2.5577

Baseline Survivor Function (at predictor means)...

1.0000	0.9682
2.0000	0.8759
4.0000	0.8001
8.0000	0.7148
10.0000	0.5185
12.0000	0.4559
13.0000	0.3917
14.0000	0.2744
25.0000	0.1930
28.0000	0.0989

Resultou assim como mais significativa a covariável H com um coeficiente que tomou o valor de 1,343 a que corresponde ao tipo de acções de manutenção antes das avarias provocadas pelas fugas de fluidos das tubagens da lavagem da pasta. Assim, a figura 5.56 apresenta a função representativa da probabilidade de sobrevivência em função do número de dias considerando agora apenas as 4 covariáveis significativas das tubagens da lavagem da pasta do processo do branqueamento.

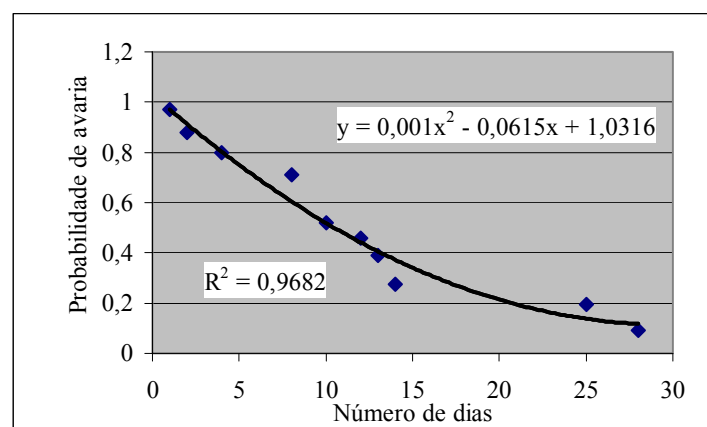


Fig. 5.56 – Função da probabilidade do risco de avaria das tubagens

A mesma análise efectuada com o programa Statistica às covariáveis independentes calculou, de acordo com a tabela 5.40, resultados da mesma ordem grandeza quando comparados com os obtidos com o *software* de Pezzullo apresentados no Anexo X.

Tab. 5.40 – Resultado obtidos dos testes estatísticos dos coeficientes

Covariável	Beta	Standard	t-value	exponent	Wald	p
H	6,5305	1,881603	3,47069	686	12,04567	0,000520

A curva de sobrevivência encontrada através do programa Statistica apresentada na figura 5.57 é também semelhante à da figura 5.56 calculada com o *software* atrás referido usado neste trabalho através da Internet e portanto sem custos.

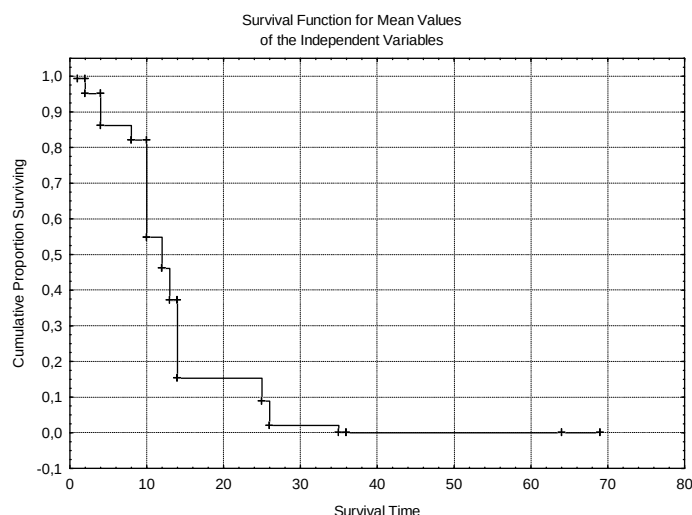


Fig. 5.57 – Curva de sobrevivência das tubagens da lavagem da pasta

Para as restantes famílias de equipamentos estáticos, rotativos e lineares referidos e descritos no subcapítulo 5.2.2 seguiu-se o mesmo tipo de procedimentos atrás referidos cujos resultados são os que se apresentam nos Anexos X a XVII. Assim, resumem-se nas tabelas 5.41 a 5.43 o módulo dos resultados significativos calculados correspondentes às avarias verificadas na área do branqueamento da pasta no período correspondente ao *outsourcing* da manutenção compreendido entre 2004 (2º semestre) e 2005 (1º semestre) excepto no caso dos motores e das celas eléctricas onde se recorreu a um histórico mais alargado das avarias. Incluiu-se também nas tabelas 5.41 a 5.43 o limite de tempo em dias considerado admissível relativamente ao(s) risco(s) da(s) avaria(s) para uma probabilidade igual ou superior a 0,5.

Tab. 5.41 – Covariáveis significativas dos equipamentos estáticos

Equip. ^{tos}	Global p- value	Covariáveis (Z) significativas	Coef. ^{te} (β)	Média (Z's)	p- value	Risco de avaria > 0,5
Tubagens (lavagem da pasta e extracção filtrado)	0,0015	Acções de manutenção	4,53	0,5	0,0012	10 dias
		Valor do nível de vibração	0,304	16,36	0,01	
		Operações da Produção nos arranques	0,465	0,27	0,01	
		Material	8,48	0,9	0,04	
Celas eléctricas (força e comando das bb. ^{as} MC)	0,0055	Acções de manutenção	4,07	0,36	0,0188	172 dias
		Estações do ano	4,4	0,21	0,0138	
		Número de manobras	2,958	0,57	0,0076	
Sensores em linha	-	Não foram identificadas	O método não convergiu para o modo de falha “colmatção”			MTBF aprox. 7 dias

Os modos de falha associados às tubagens dizem respeito a processos físicos de degradação que conduzem à quebra mecânica da função de condução e vedação de fluidos. Nas células eléctricas do(s) MCC(s) – *Motor Center Control*, onde se inclui também as avarias nos interruptores de segurança (*safety switch*), estão associados aos maus contactos nos componentes de força e de protecção. A tabela 5.42 apresenta as covariáveis significativas dos equipamentos lineares apresentados em 5.2.2.1.

Tab. 5.42 – Covariáveis significativas dos equipamentos lineares

Equip. ^{tos}	Global p- value	Covariáveis (Z) significativas	Coef. ^{te} (β)	Média (Z's)	p- value	Risco de avaria > 0,5
Cilindros hidráulicos (elevação dos crivos da lavagem da pasta)	0,001	Variações na produção	0,074	42,6	0,014	11 dias
		Tempos de subida	0,494	0,39	0,0022	
		Velocidades da pasta e dos cilindros	1,81	0,49	0,0001	
Válvulas automáticas (lavagem e extracção filtrados)	0,07	Operações da Produção nos arranques	0,73	0,66	0,05	5 a 7 dias
		Valor do nível de vibração	0,05	13,6	0,02	

A tabela 5.43 apresenta as covariáveis significativas dos equipamentos rotativos apresentados em 5.2.2.2.

Tab. 5.43 – Covariáveis significativas dos equipamentos rotativos

Equip. ^{tos}	Global p-value	Covariáveis (Z) significativas	Coef. ^{te} (β)	Média (Z's)	p-value	Risco de avaria > 0,5
Bombas de pasta a média consistência (bb. ^{as} MC)	0,0054	Operações da Produção nos arranques	1,793	0,72	0,0018	69 dias
		Modelo da bomba	1,767	0,38	0,0014	
		Causas de avaria extrínsecas às bombas	1,312	0,62	0,022	
Motores eléctricos (bb. ^{as} MC)	0,25 a 0,0087	Acções de Manutenção	2,27	0,316	0,016	129 a 243 dias
		Operações da Produção nos arranques	4,064	0,84	0,019	
		Operações da Produção nos arranques	0,73	0,66	0,05	
		Valor do nível de vibração	0,05	13,6	0,02	
Transportador (C800)	0,0064	Variações de produção	1,58	0,59	0,042	20 dias
		Condição dos rolos	2,42	0,26	0,027	
		Variação consistência	1,49	0,56	0,024	
		Outros modos de falha	1,94	0,56	0,014	

Nos motores eléctricos os modos de falha associam-se a processos mecânicos de degradação do isolamento das bobinas. Nas tubagens, celas e motores eléctricos foram diferenciados dois tipos distintos de acções de manutenção antes de cada uma das avarias verificadas e, por isso, distingue-se, respectivamente, por 1 ou 0, as acções curativas (após a avaria) e não planeadas e, por outro lado, as acções de manutenção planeadas em consequência de acções detectivas (detecção da falha ainda antes da avaria ocorrer).

Em alguns equipamentos estáticos e rotativos considerados verificou-se que o módulo dos coeficientes de regressão β é bastante significativo tomando, no caso das celas eléctricas, sinal contrário ao das tubagens e dos motores eléctricos. As covariáveis, os valores dos coeficientes β e os de Z são resumidos no quadro 5.12.

Quadro - 5.12 – Relações mais significativas de β e Z

Equip. ^{tos}	Covariáveis (Z) significativas	Coef. ^{te} (β)	Média (Z's)
Tubagens	Acções de manutenção	4,53	0,5
	Valor do nível de vibração	0,304	16,36
	Material	8,48	0,9
Cilindros hidráulicos	Variações na produção	0,074	42,6
	Velocidades da pasta e dos cilindros	1,81	0,49
Celas eléctricas	Acções de manutenção	4,07	0,36
	Estações do ano	4,4	0,21
	Número de manobras	2,958	0,57
Bombas	Operações da produção nos arranques	1,793	0,72
	Causas de avaria extrínsecas	1,312	0,62
Motores	Operações da produção nos arranques	4,064	0,84
Válvulas automáticas	Operações da produção nos arranques	0,73	0,66
	Valor do nível de vibração	0,05	13,6
Transportador	Variações de produção	1,58	0,59

Relativamente às “operações da produção” a interpretação deve ser a seguinte:

i - quando a avaria ocorre durante o funcionamento e produção normais e, portanto, com a ausência de operações importantes no processo e nos equipamentos por parte dos operadores da produção; ii - quando a avaria ocorre a seguir a situações de arranque exigindo, neste caso, da parte dos operadores as correspondentes operações sobre os equipamentos de forma a iniciar-se o aumento da produção até ao regime desejado. No primeiro caso a covariável toma o valor 1 e no segundo caso o valor 0. Pretende-se, com a introdução da covariável atrás referida, perceber da existência ou não de diferenças significativas da acção dos operadores nas situações atrás descritas. Não foi considerada neste trabalho a identificação de eventuais diferenças dos operadores e(ou) turnos/horários de trabalho na condução dos equipamentos.

De facto, de acordo com os resultados obtidos, o coeficiente de regressão (β) das “operações da produção” é significativo para as avarias verificadas nas tubagens, nas bombas hidráulicas e respectivos motores eléctricos e, ainda, nas válvulas automáticas. Verificou-se também que grandes variações do nível de produção e da consistência da pasta têm impactos significativos nas avarias que ocorreram nos sistemas hidráulicos da elevação dos crivos da lavagem da pasta e no transportador designado por C800.

Podem-se agora agrupar as diferentes famílias de equipamentos de acordo com uma métrica em função do limite do número de dias a partir dos quais a probabilidade do risco de avaria começa a ser superior a 0,5. A figura 5.58 apresenta o agrupamento das diferentes famílias de equipamentos em função desse risco de avaria.

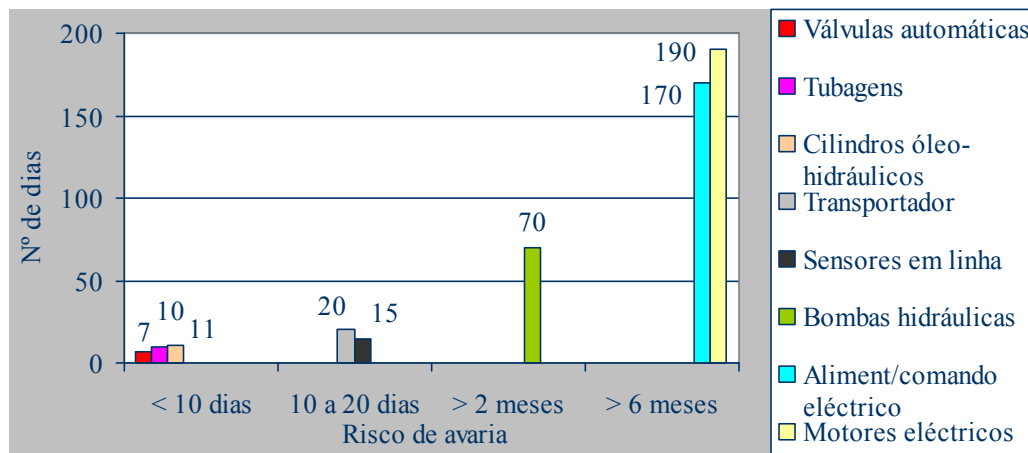


Fig. 5.58 – Agrupamento dos equipamentos em função do risco de avaria

Até aqui foram apresentados os resultados respeitantes ao modelo dos riscos proporcionais (PHM). Em seguida são apresentados os resultados encontrados para o dimensionamento das equipas dos serviços de manutenção através da aplicação do modelo das filas de espera (QM – *Queuing Model*) efectuada entre 2004 e 2005 aos serviços de manutenção para o atendimento dos pedidos de reparação curativa e correctiva da área do branqueamento e da linha de produção de pasta (*fiber line*).

No modelo de filas de espera a população é considerada infinita devido ao elevado número de equipamentos fabris; as chegadas dos pedidos de reparação são aleatórias e os respectivos intervalos de tempo entre si são exponenciais negativos; a disciplina da fila segue, geralmente, a regra FIFO por se tratar apenas de equipamentos produtivos de laboração contínua em série e não existir quaisquer limitações para a fila de espera.

A figura 5.59 apresenta os resultados obtidos para o serviço eléctrico no atendimento das reparações do tipo correctivo e curativo na área do branqueamento calculados através das expressões apresentadas na tabela 3.1 da página 165 do capítulo 3.

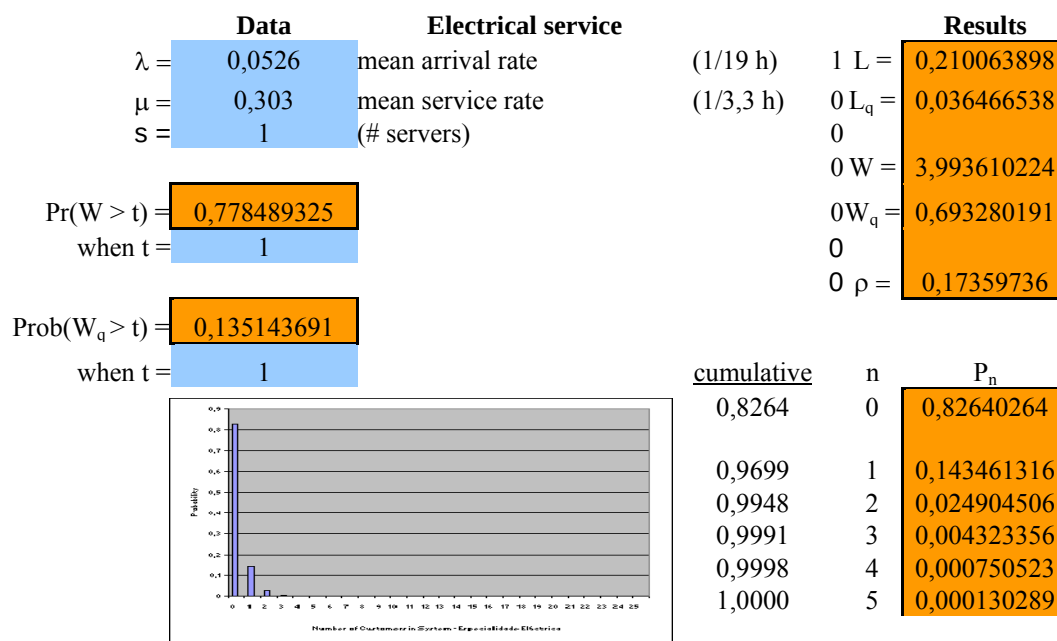


Fig. 5.59 - Resultados do atendimento das reparações eléctricas

Verifica-se que a taxa de ocupação de 1 executante é de 0,17 com uma probabilidade de 0,14 para haver 1 trabalho de reparação fortuita no sistema. A figura 5.60 apresenta o aspecto da caixa de diálogo de imputação dos dados atrás referidos numa simulação efectuada neste caso através de um *software* de aplicação disponível na Internet desenvolvido pela Universidade de Malta para filas do tipo M/M/S.

Input Parameter	The value
Arrival Rate (l)	0.0526
Service Rate (m)	0.303
Experiment duration	1000
Maximum queue length	1000

Fig. 5.60 – Imputação das taxas de chegadas e de serviço

As figuras 5.61 e 5.62 apresentam os resultados da simulação para 1 executante.

Result	Computed value	Simulated value
Customers in system (L_s)	0.2100638	0.1811124
Customers in queue (L_q)	0.0364665	0.0274211
Time in system (W_s)	3.9936102	3.7293973
Time in queue (W_q)	0.6932801	0.5535734
Idle probability (p_0)	0.8264026	0.8823529
Server utilization (r)	0.1735973	0.1536913

Fig. 5.61 – Resultados da simulação

Other Simulation Results

Result	Value
Number of arrivals	51
Minimum arrival interval	0.7218849
Maximum arrival interval	74.589757
Number of services	50
Minimum service duration	0.0837528
Maximum service duration	16.680498
Maximum waiting time	8.5371529
Maximum time in system	20.985794
Maximum queue length	2

Fig. 5.62 – Resultados da simulação

Assim, confirmam-se os resultados da página 330 pelo que não se justifica qualquer executante dedicado do serviço de electricidade na área fabril do branqueamento.

À semelhança da forma como se obtiveram os resultados para o serviço de electricidade a figura 5.63 apresenta agora os resultados obtidos para o serviço mecânico para o atendimento das reparações solicitadas na área do branqueamento.

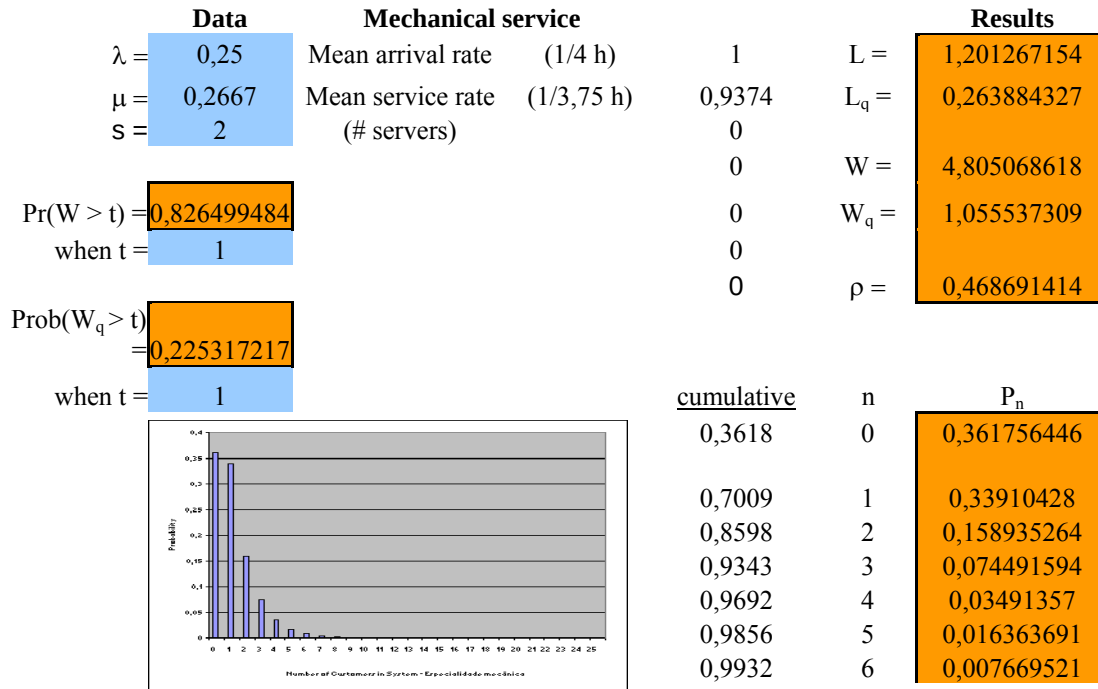


Fig. 5.63 – Resultado do atendimento das reparações mecânicas

Assim, fez-se de novo o uso das expressões matemáticas apresentadas na tabela 3.1 do capítulo 3 iniciando-se os cálculos com a utilização de 1 executante. Perante o resultado obtido de 0,94 para o factor de utilização verifica-se insuficiente 1 executante para uma taxa de chegada de 0,25 e para uma taxa de serviço de 0,267. Desta forma serão necessários pelo menos 2 executantes da especialidade mecânica para o atendimento das reparações na área do branqueamento. Nestas circunstâncias e usando as mesmas expressões atrás referidas a taxa de ocupação é cerca de 0,47 para uma probabilidade de 0,34 de haver um trabalho de reparação fortuita no sistema e por consequência a probabilidade de 0,36 de não haver qualquer trabalho. De notar que os resultados apresentados na figura 5.63 dizem respeito à utilização de 2 servidores no atendimento das reparações. Na realidade e como atrás ficou caracterizado na página 316 do subcapítulo 5.5.2.1 a proporção dos trabalhos na especialidade mecânica com necessidade de 2 executantes é de 50% justificando-se também por isso a necessidade de pelo menos 2 executantes do serviço mecânico dedicados à área do branqueamento.

Procedendo-se de forma idêntica à anterior calculou-se a necessidade de 1 executante dedicado dos serviços de instrumentação para a área do branqueamento.

Apresentadas duas situações ilustrativas da forma como se usaram as expressões de cálculo apresentadas na tabela 3.1 do subcapítulo 3.3 e o *software* de aplicação para as filas do tipo M/M/S atrás referido para dimensionar as equipas de manutenção dedicadas à área do branqueamento da pasta apresenta-se em seguida os resultados respeitantes a toda a linha de pasta (*fiber line*). Assim, na figura 5.64 apresentam-se os resultados do desempenho do sistema considerando 6 executantes (servidores) do serviço mecânico no atendimento dos trabalhos de manutenção da linha de pasta.

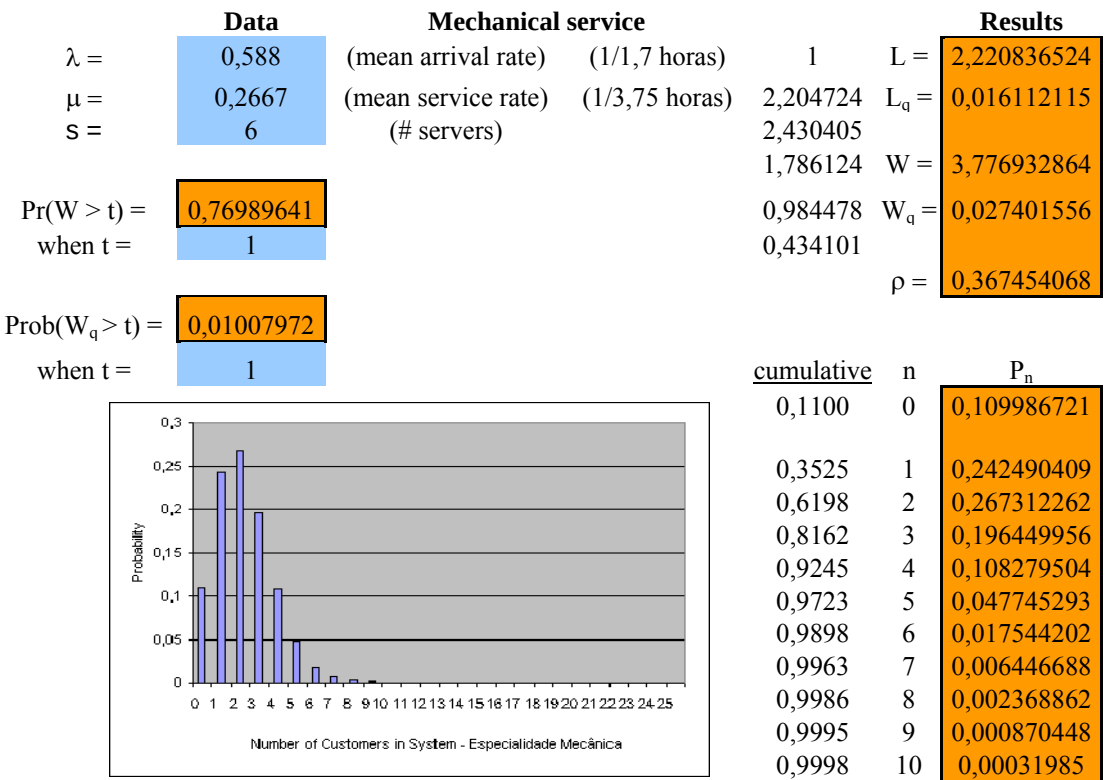


Fig. 5.64 – Resultado do desempenho do sistema para o serviço mecânico

A taxa de ocupação é cerca de 0,37 se todos os trabalhos fossem atendidos por um único executante o que não acontece conforme se referiu na página 316. Assim, o número total de executantes necessários é de 10 para atender aos trabalhos curativos e correctivos o que corresponde a 2 servidores (equipas de atendimento) com 1 executante e a 4 servidores com 2 executantes para cada um.

Usou-se também um *software* da IFORS disponível na Internet para simular os parâmetros impostos pelas chegadas de pedidos de reparação e o tempo médio de atendimento. As figuras 5.65 e 5.66 apresentam o aspecto do *interface* com o utilizador que permite introduzir os dados e seleccionar uma distribuição estatística no caso a exponencial negativa verificada entre os tempos das chegadas dos pedidos de reparação do caso em estudo. Para caracterizar os parâmetros dos tempos de atendimento a *interface* do programa com o utilizador é semelhante ao atrás usado para as chegadas.

Fig. 5.65 – *Interface* para a introdução dos dados das chegadas

Definida a duração da experimentação, no caso de 10000 unidades, faz-se a simulação.

Fig. 5.66 – *Interface* da introdução de dados

Alguns exemplos dos resultados da simulação são apresentados nas figuras que se seguem. A figura 5.67 e 5.68 apresentam, respectivamente, os resultados relativos às chegadas dos pedidos de reparação e da fila de espera dos serviços de manutenção mecânica da linha de produção de pasta (*fiber line*).

Evaluation at time		10000.006232612966
Arrivals		
Arrival intervals	Average	1.6941498502434437
	Maximum	13.043838388385612
	Std Dev	1.704225430632982
Number of arriving customers		5902
Number of not waiting customers		5739 (97.23%)
Number of lost customers		0 (0%)
Effective arrival rate		0.590199632151412 (100

Fig. 5.67 - Resultados das chegadas dos pedidos de reparação

Queue		
Queue length	Average	0.014973839734742517
	Maximum	4
	Std Dev	0.17135611334673778
Waiting time	Average	0.025370804926054365
	Maximum	4.834057649200076
	Std Dev	0.21469209229624586

Fig.5.68 - Resultados da fila de espera dos pedidos de reparação

Os resultados do serviço de atendimento são apresentados na figura 5.69.

Service		
Service duration	Average	3.697864381865566
	Minimum	0.00002834076482852748
	Maximum	35.475887882227255
	Std Dev	3.5429979975590146
Number of served batches		5896
Number of served customers		5896
Average number of busy servers		2.1807527371914865
Utilization of servers		0.3634587895319144

Fig.5.69 – Resultados do serviço de atendimento

Finalmente, a figura 5.70 apresenta os resultados da simulação do comportamento do sistema com a utilização de 6 servidores correspondente a 10 executantes.

System		
System size	Average	2.195726576926231
	Maximum	10
	Std Dev	1.4982276709047914
System time	Average	3.7205602964579367
	Maximum	36.1129093940408
	Std Dev	3.5499984027134807

Fig. 5.70 – Resultados do comportamento do sistema

Para os serviços de manutenção eléctrica (sml1ele) e instrumentação (sml1inst) foram calculadas através pela mesma forma anterior a necessidade de 3 técnicos executantes para cada um dos serviços para atender aos pedidos de reparações fortuitas verificadas na linha de produção de pasta (*fiber line*) tendo neste caso em consideração que para o atendimento de 20% a 30% dos trabalhos são necessários em simultâneo 2 técnicos.

Em face dos resultados atrás calculados apresenta-se na tabela 5.44 o resumo da quantificação das necessidades dos executantes a afectar/dedicar (*insourcing*) a cada serviço de atendimento ou seja o mecânico, o eléctrico e de instrumentação.

Tab. 5.44 – N.º de executantes dedicados a cada serviço de manutenção

	Mecânica	Eléctrica	Instrumentação
Branqueamento	2	-	1
Linha de pasta	10	3	3

Assim, a tabela 5.45 apresenta o resumo dos resultados encontrados tendo por base os dados recolhidos entre os anos de 2004 e 2005 relativos ao dimensionamento operacional da manutenção para os trabalhos fortuitos verificados entre o período normal de funcionamento dos serviços (8h00-17h00) na linha de pasta de produção de pasta para papel para a fábrica da Portucel Soporcel de Setúbal.

Tab. 5.45 – Dimensionamento das equipas das reparações fortuitas – *Fiber line*

Serviços de manutenção	N.º de servidores (equipas)	Trabalhos com 1 executante	N.º de executantes necessários	Máximo trabalhos na fila (Lq)	Tempo de espera (Wq)
Mecânica	6	30%	10	4	4,83
Eléctrica	2	70%	3	4	9,3
Instrumentos	2	70%	3	4	8,6
Totais	10	-	16	-	-

Para a área do branqueamento, onde existe um número significativo de pedidos de reparação de âmbito mecânico efectuados ao serviço designado por sml1amec e onde os tempos de reparação são mais significativos, justificam-se dedicar 2 executantes.

O serviço eléctrico o sml1ele responde ao maior MTBF dos equipamentos de cerca de 19 horas e face aos resultados obtidos não sugerem, ao contrário do serviço de instrumentação, o sml1inst, a necessidade de dedicar algum electricista para o atendimento dos pedidos de reparação fortuitos na área do branqueamento. Finalmente, justifica-se 1 instrumentista dedicado para aquela área fabril. A figura 5.71 apresenta os resultados recolhidos do CMMS da manutenção, o SAP R3, no período compreendido entre Outubro de 2004 a Maio de 2005 confirmando-se os dados atrás usados relativamente ao número de chegadas dos pedidos de reparação.

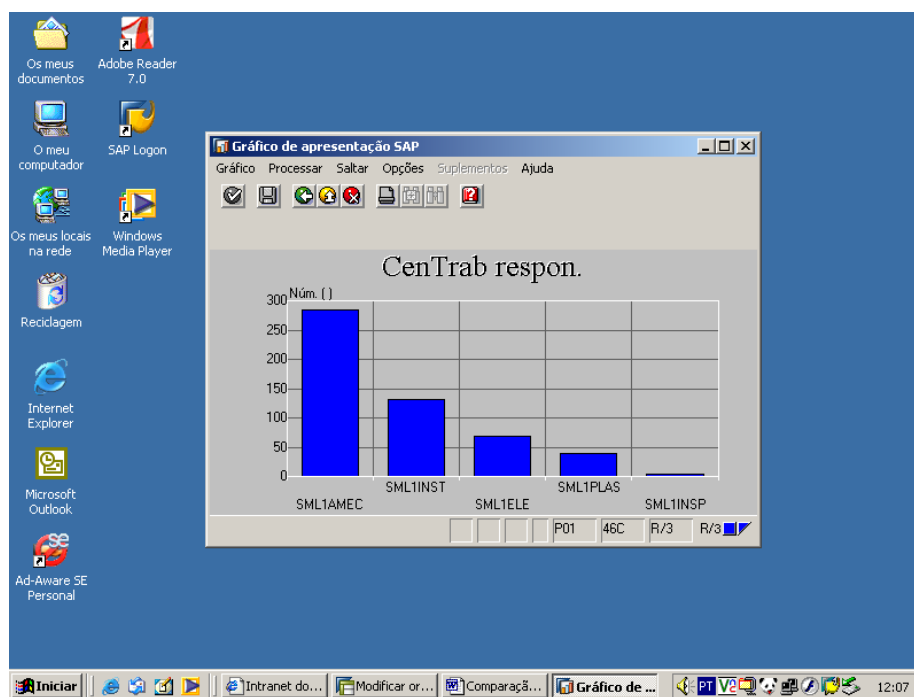


Fig. 5.71 – Notas de reparação do branqueamento entre Out. 04 a Maio 05

Assim, ficou atrás caracterizado o dimensionamento das equipas de manutenção para o atendimento dos pedidos de reparação que não carecem de paragem da(s) área(s) fabris. A dimensão destas equipas de manutenção vai, conforme referido no subcapítulo 5.5.2.3, definir o maior ou o menor nível do *backlog* desejado para cada serviço de manutenção representando assim o tempo de resposta (W_q) de cada serviço e por consequência o maior ou o menor número de trabalhos (L_q) e horas de trabalho em atraso face ao nível de manutenção necessário e esperado.

Na situação atrás apresentada muitas das reparações efectuadas são do tipo *bad as old* pelo que um conjunto de trabalhos ficam a aguardar a paragem simultânea do(s) equipamento(s) e da área fabril para se efectuar a reparação definitiva (*good as new*).

De acordo com o subcapítulo 2.1.3 verifica-se também neste caso que decorrem diferentes períodos de tempo entre uma avaria potencial que ocorre imediatamente seguir ao início de uma falha e a avaria propriamente dita que conduz à cessação total da função do equipamento. Por outro lado, de acordo com a avaliação da criticidade e do risco de avaria apresentados no subcapítulo 2.2.2, pode-se ou não optar por uma reparação provisória em detrimento de uma reparação definitiva para não prejudicar a disponibilidade do equipamento, da instalação e os custos operacionais.

Sabe-se, através dos dados recolhidos e apresentados em 4.1.6.4 e 5.4.2, que existem nas condições atrás referidas um determinado número mínimo e máximo de trabalhos que aguardam a requerida reparação definitiva que também variam em função do intervalo de tempo decorrido entre paragens das áreas fabris. Assim, a tabela 5.46 resume os dados relativos à linha de pasta (*fiber line*) para a aplicação da expressão 3.13 apresentada no capítulo 3.4 e a usar para a minimização dos custos operacionais para as paragens de curta duração referidas no subcapítulo 5.4.2.

Tab. 5.46 – Resumo dos dados a usar no modelo de subcontratação

	Quantidade de trabalhos (r)	Média de trabalhos processados por 2 executantes/hora (m)	Média do custo interno por trabalho (C _w)	Média do custo externo por trabalho (C _s)	Custos fixos por Homem/hora (C _f)
Mínimo	16	0,25	96 euros	120 euros	20 euros
Máximo	30		(4x12x2)	(4x15x2)	

Nestas circunstâncias foi caracterizado o número médio de 0,25 trabalhos processados por hora pelas equipas de manutenção, assim como o custo médio dos trabalhos efectuados com recurso aos executantes dedicados dos serviços de manutenção já dimensionados através da teoria das filas de espera e também o das equipas externas de reforço com base nas taxas horárias do mercado. Efectuadas as substituições numéricas a expressão 2.1 toma então a forma geral a seguir apresentada onde n representa, neste caso, o número de equipas.

$$C_{(n)} = n.C_f + (0,25.n \int_{0,25n}^{30} 1/14 \, dr) + \int_{16}^{0,25n} 1/14 \, r \, dr) C_w + (\int_{0,25n}^{30} (r-0,25.n) 1/14 \, dr) C_s$$

Considera-se que o custo fixo (C_f) representa o valor correspondente à estrutura do *back office* dos serviços de execução como que contempla o trabalho de investigação e diagnóstico das falhas, o planeamento e a preparação dos trabalhos também ao nível dos materiais necessários e, ainda, a supervisão e o controlo da qualidade da execução.

A figura 5.72 apresenta os resultados obtidos para otimizar o custo total da mão-de-obra executante para os diferentes serviços de manutenção em função dos valores de n que se experimentou variar entre 20 e 60 equipas.

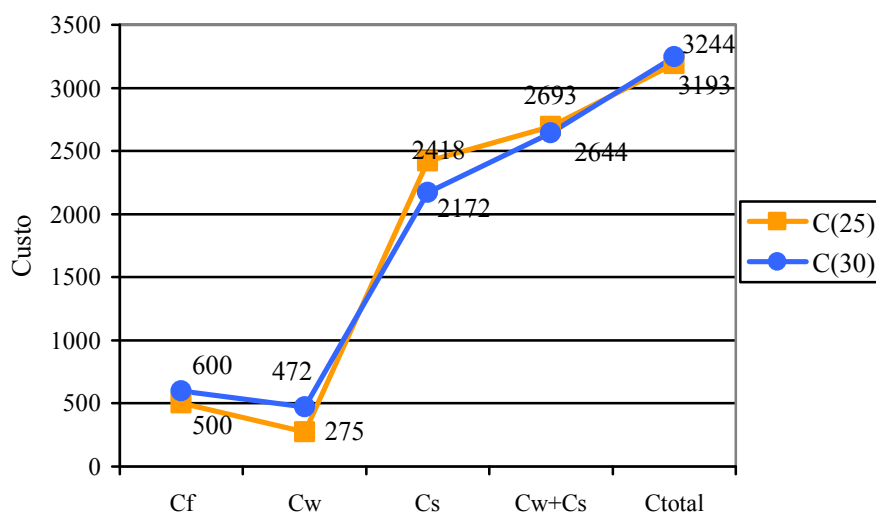


Fig. 5.72 – Variação dos custos em função do número de (técnicos) executantes

Neste caso o custo óptimo situa-se em cerca de 3200 euros para um total entre 25 a 30 equipas de executantes constituídas em média por 2 elementos cada uma ou seja entre 50 a 60 executantes nas diferentes especialidades e competências dos serviços de manutenção. Para além do número de executantes há ainda a considerar, de acordo com o subcapítulo 1.8, as qualificações e competências necessárias contratar para execução das requeridas operações de reparação e substituição ou de calibração e ensaios de âmbito mecânico, eléctrico e instrumentação. Assim, de acordo com o descrito no subcapítulo 4.1.1 as principais falhas funcionais e as consequentes avarias verificadas e, ainda, pelo apresentado no subcapítulo 2.4 as competências necessárias mais frequentes são as que interagem com as funções dos equipamentos no domínio da “vedação e condução” de fluidos e nos “accionamentos e transmissões” da área mecânica e da “indicação e controlo” na área da instrumentação.

5.5.3.2 – Caracterização das medidas tomadas e a sua implementação

Face aos resultados atrás obtidos no subcapítulo 5.5.3.1 respeitantes à aplicação dos modelos parciais fez-se a comparação entre estes e os correspondentes à da realidade operacional verificada em 2005. Assim, são consideradas as medidas que foram tomadas pela administração da organização da Portucel Soporcel a partir de 2006 e as necessárias tomar a um nível mais operacional em consequência do presente trabalho.

A principal medida estruturante tomada pela administração da Organização já no final de 2005 e que vem de encontro à análise e comentários apresentados no subcapítulo 4.4 foi terminar com o modelo de *outsourcing* da manutenção descrito em 4.2.2 e implementado na linha de pasta (*fiber line*) em 2002. Esta decisão visava para a Comissão Executiva do grupo Portucel Soporcel e também de acordo com os objectivos do presente trabalho o decréscimo dos custos fixos através do acréscimo de sinergias e, por consequência, a redução dos recursos até então utilizados. Ao nível operacional a decisão estratégica atrás referida implicou as alterações organizacionais apresentadas no subcapítulo 4.5 que vêm de encontro ao chamado neste trabalho por *bestsourcing* caracterizado no subcapítulo 1.7.3. Assim as medidas operacionais tomadas e implementadas no terreno de uma forma integrada com base nos resultados atrás apresentados no subcapítulo 5.5.3.1 são enquadradas no sentido da melhoria contínua da fiabilidade operacional e por consequência na redução dos custos:

- 1º - Medidas sobre o tipo de acções de manutenção nas diferentes famílias de equipamentos resultantes da aplicação do modelo dos riscos proporcionais;
- 2º - Medidas de dimensionamento tomadas sobre os recursos dedicados e do nível de manutenção corrente (perfeita e imperfeita) resultantes da aplicação das filas de espera;
- 3º - Medidas sobre a caracterização e previsão das necessidades de subcontratação para atender a picos de trabalho provenientes de equipamentos que aguardam uma paragem para permitir a sua reparação (perfeita).

De referir que por se estar a tratar de uma instalação produtiva de laboração contínua e em laboração normal fez-se a apresentação ao titular da Direcção de Engenharia e Manutenção do trabalho realizado até meados de 2006 da qual suscitou a sua concordância para a implementação prática das medidas previstas preconizar.

1º - Medidas sobre o tipo de acções de manutenção nas diferentes famílias de equipamentos resultantes da aplicação do modelo dos riscos proporcionais

Assim, em consequência dos resultados significativos obtidos através dos valores dos coeficientes de regressão (β) foram propostas acções concretas a implementar sobre os equipamentos para a redução ou a anulação do efeito dessas covariáveis significativas e, conseqüentemente, a redução do risco de avarias. Após a autorização da aplicação dessas acções que se apresentam no quadro 5.13 iniciou-se, ainda antes de Setembro de 2006, a sua implementação que decorreu, em parte, até o final de Abril de 2007.

Quadro 5.13 – Principais acções implementadas

Famílias de equipamentos e quantidade(s)					
Estáticos		Rotativos		Lineares	
Tubagens hidráulicas	14	Bombas hidráulicas	6	Válvulas automáticas	25
Substituir juntas inadeq. ^{das}		Inspecção antes arranque		Redimensionar diâmetros	
Substituir tubagens deg. ^{das}		Controlo pressão óleo		Modificar tempos abertura	
Ref. ^{çar} espessura e suportes		Controlo água vedação		Verificar vedação	
Medição de vibrações		Acompanhar os arranques		Proteger actuadores	
Celas eléctricas	6	Motores eléctricos	6	Cilindros hidráulicos	42
Monitorar temp. ^{ra} contactos		Inspecção caixas ligações		Monitorar difer. ^{ais} pressão	
Inspecção caixas ligações		Medição resistência isola. ^{to}		Controlar tempos subida	
Substituir componentes		Verificar cargas funcion. ^{to}		Controlar prod. ^{ção} vs veloc.	
Controlo funciona. AVAC		Limpeza		Controlar condição filtros	
Sensores em linha	14	Transportador	1	Transportador (cont.)	1
Periodicidade de limpeza		Montagem rolo alinhador		Verificar consistência	
Redesenho		Subst. ^{ção} preventiva de rolos			

Para além das medidas apresentadas no quadro 5.13, a maior parte delas da responsabilidade da manutenção, foi sensibilizada a produção para a importância das operações de condução dos equipamentos nas fases do arranque das instalações. Foram considerados em particular os momentos em que são necessárias aberturas e fechos de válvulas automáticas bem como as variações de produção que possam comprometer o bom funcionamento dos equipamentos como por exemplo o transportador de pasta

(C800), os cilindros óleo-hidráulicos, as bombas hidráulicas, as tubagens e os crivos do sistema de lavagem e contra-lavagem da pasta. Para além das verificações locais efectuadas aos equipamentos durante os arranques que ocorreram durante o período de trabalho normal de trabalho dos serviços de manutenção foi também tomada em linha de conta as periodicidades das acções em função dos resultados resumidos na figura 5.58 do subcapítulo 5.5.3.1. Refere-se ainda a importância da temperatura ambiente das salas dos quadros eléctricos (celas eléctricas) especialmente durante o período de verão por se ter verificado ter um efeito significativo nas avarias dos componentes eléctricos sendo, por isso, importante verificar-se um bom funcionamento dos sistemas AVAC que lhes estão dedicados. Por outro lado a medição do nível de vibrações, normalmente aceite e usado no controlo de condição dos equipamentos rotativos, foi também usado para a avaliação da severidade do funcionamento das tubagens e também dos equipamentos instalados em linha para a regulação, medição e o controlo do processo produtivo. O quadro 5.14 apresenta o desdobramento das acções resultantes sobre os factores significativos para a redução do risco de avaria dos equipamentos rotativos.

Quadro 5.14 - Desdobramento das acções tomadas sobre os factores significativos

Equip. ^{tos} rotativos	Factores significativos	Acções tomadas
Bombas hidráulicas	Operações durante os arranques	Vigilância (cavitação)
	Causas extrínsecas (sistemas secundários)	Limpeza de rotâmetros
		Verificar pressão e caudal das de águas vedação
		Lubrificação acoplamentos (paragens)
	Nível de vibração	Rotina de medição e análise
	Modelo (localização)	Maior cuidado com o modelo de bomba accionada através de variador fixo p/ aumento de velocidade
Motores eléctricos	Acções de manutenção (preventivas)	Inspecções a caixas de ligações
		Limpeza de motores (temperatura)
		Medição da resistência de isolamento
		Verificar da carga de funcionamento
	Nível de vibração	Rotina de medição e análise

O quadro 5.15 apresenta o desdobramento das acções resultantes das medidas sobre os factores significativos para a redução do risco de avaria dos equipamentos estáticos.

Quadro 5.15 - Desdobramento das acções tomadas sobre os factores significativos

Equip. ^{tos} estáticos	Factores significativos	Acções tomadas
Tubagens	Operações durante arranques	Procedimentos de arranque
		Tempos de abertura de válvulas
		Vigilância da operação
	Acções de manutenção	Reapertos de uniões
		Vigilância diária (rotina)
		Levantamento de condição
		Desisolar tubagens c/ temp. > 80°C
	Nível de vibração	Medições do nível de vibração (melhorar suportagem)
	Qualidade da tubagem	Reforço de tubagem FRP e substituição da qualidade de inox p/ temperatura
	Qualidade das juntas e flanges	Identificação de juntas em cartão e uniões
Substituição de juntas de cartão		
Eliminar uniões desnecessárias		
Arrancadores ou celas eléctricas e interruptores segurança	Acções de manutenção	Inspecções sensoriais
		Termografia
	Condição dos contactos	Inspecções de limpeza e reapertos
	Influência das estações do ano	Selagem das salas eléctricas
		Controlo da temperatura e humidade das salas eléctricas
Sensores em linha	Encravamento/sujidade	Limpeza periódica
		Calibrações

O quadro 5.16 apresenta o desdobramento das acções resultantes das medidas sobre os factores significativos para a redução do risco de avaria dos equipamentos lineares.

Quadro 5.16 - Desdobramento das acções tomadas sobre os factores significativos

Equipa. ^{tos} lineares	Factores significativos	Acções tomadas
Cilindros óleo-hidráulicos	Variações produção Vs consistência da pasta	Utilização de tabelas de produção (tempos de subida)
		Controlo da consistência
	Velocidade da pasta Vs velocidade dos cilindros	Monitorização <i>on-line</i> dos diferenciais de pressão em cada um dos cilindros
	Condição do óleo hidráulico	Inspecções válvulas de equilíbrio
		Condição de filtros
		Amostras e limpeza de óleo

O quadro 5.17 apresenta o desdobramento das acções resultantes das medidas sobre os factores significativos para a redução do risco de avaria dos equipamentos de regulação.

Quadro 5.17 - Desdobramento das acções tomadas sobre os factores significativos

Equipa. ^{to} regulação	Factores significativos	Acções tomadas
Válvulas automáticas	Operações durante o arranque	Procedimentos de arranque
	Nível de vibração	Medição do nível de vibração
	On-Off e variáveis	Substituição indicadores pressão diferencial e filtros de ar nas JB's
		Inspecção ligação actuador-válvula
	On-Off	Verificação do zero (fecho)
		Modificar tempos de abertura
	Variáveis	Identificar válvulas com abertura de serviço < 50% (redimensionar)
	Posicionadores	Protecção (vedação) e filtragem ar

Finalmente o quadro 5.18 apresenta o desdobramento das acções resultantes das medidas sobre os factores significativos para a redução do risco de avaria do equipamento de transporte da pasta C800.

Quadro 5.18 - Desdobramento das acções tomadas sobre os factores significativos

Equipa. ^{to} transporte	Factores significativos	Acções tomadas
Transportador (C800)	Variações de produção e consistência	Controlo da quantidade e da consistência da pasta
		Montagem de rolos auto-alinhadores
	Condição dos rolos	Substituição rolos
	-	-

Muitas das acções de manutenção atrás preconizadas vêm de encontro às práticas apresentadas no subcapítulo 1.7.1 no entanto também existem acções que contribuem para a diminuição do risco de avaria mas não dependem das práticas usadas pelos serviços de manutenção. A área fabril em estudo, a do branqueamento da pasta de papel, é abrangida tal como as restantes áreas por planos de manutenção (PM) referidos no subcapítulo 4.1.2. Estes planos pretendem dar respostas preventivas sistemáticas e condicionadas ao estado dos equipamentos para, de acordo com o subcapítulo 1.6.1, se minimizar os custos operacionais e maximizar-se do proveito. Os planos de manutenção são uma peça fundamental da gestão da manutenção e para a criação de valor a que se refere o subcapítulo 2.1.1. Assim e de acordo com os resultados agora obtidos verifica-se que os planos operacionais existentes na fábrica de pasta de Setúbal do grupo Portucel Soporcel caracterizados pelas acções (tarefas) do tipo s022 apresentadas na tabela 4.3 e figura 4.10 do subcapítulo 4.1.2 não respondem da mesma forma aos diferentes tipos de falhas funcionais que ocorrem. De facto face aos resultados da aplicação do modelo dos riscos proporcionais apresentados no subcapítulo 5.5.3.1 surgem também outros tipos de acções preventivas sistemáticas e condicionadas necessárias implementar sobre os factores significativos do risco de avarias. De entre esses tipos de acções destacam-se aquelas que dependem do número de paragens e arranques:

- Vigilância da condição dos equipamentos (*on-line e off-line*) durante a fase de arranque onde se referem as verificações da pressão e caudal das águas de vedação; a carga de funcionamento; o nível de vibração e a qualidade do ar de instrumentos;
- Inspecções às caixas de ligações eléctricas dos motores;
- Medição da resistência de isolamento das bobinas dos motores;

- Procedimentos de arranque onde se destacam os tempos de abertura de válvulas, os reapertos de uniões e flanges das tubagens e o controlo da relação entre a variação da produção e o valor da consistência da pasta.
- O adequado nível de vedação dos dispositivos eléctricos aos eventuais derrames.

As outras acções atrás apresentadas e que não dependem ou podem não depender do número de paragens e arranques da produção e, conseqüentemente, dos equipamentos são:

- A limpeza;
- A lubrificação;
- A vibração dependente de um componente em fase de degradação;
- O estado actual dos equipamentos;
- A qualidade dos materiais;
- A existência de equipamento ou componentes instalados mas desnecessários;
- A temperatura de funcionamento de componentes electro-mecânicos;
- A selagem das salas eléctricas;
- A temperatura, humidade e qualidade do ar nas salas eléctricas
- As periodicidades de calibração de sensores;
- A condição dos sistemas de filtração;
- A monitorização *on-line* dos equipamentos críticos;
- O devido nível de protecção (vedação) a intempéries;
- A melhoria contínua da fiabilidade dos materiais e do serviço prestado pela manutenção especialmente através do diagnóstico de falhas.

De entre as acções atrás descritas muitas delas só podem ser efectuadas com o equipamento parado implicando, por isso, a necessidade ou a oportunidade das paragens de curta duração referidas no subcapítulo 5.4.2. Assim, foi iniciada em Setembro de 2006 na área do branqueamento a implementação das acções descritas em substituição de algumas das do tipo s022 previstas executar e contempladas nos planos de manutenção existentes. Uma das acções mais importantes efectuadas sem a paragem dos equipamentos foi e é a monitorização do diferencial de pressões nas câmaras dos 42 cilindros óleo-hidráulicos do accionamento linear dos crivos da lavagem da pasta das torres de branqueamento apresentados no subcapítulo 5.2.2.

O método de análise da condição do funcionamento do sistema consiste na observação das pressões de entrada e saída dos cilindros (pressão diferencial DP = pressão da câmara superior – pressão da câmara inferior). Estas pressões são monitorizadas através de sensores/conversores de pressão WIKA ECO-1 (0 - 250 Bar) que convertem directamente a pressão em corrente de 4-20 mA e sua alimentação é de 24 VDC. Quando ligados em série, com uma resistência de 250 Ω , é possível registar o seu sinal numa escala de 1V a 5V ou em unidade de engenharia utilizando as potencialidades de um registador Yokogawa DL-750 com 12 canais disponíveis. Assim, é possível executar *on-line* a operação que permite determinar os DP's (função Math) e(ou) efectuar a transferência dos dados registados (formato ASCII) para uma folha Excel.

A configuração das ligações do sistema é a que se apresenta na figura 5.73.

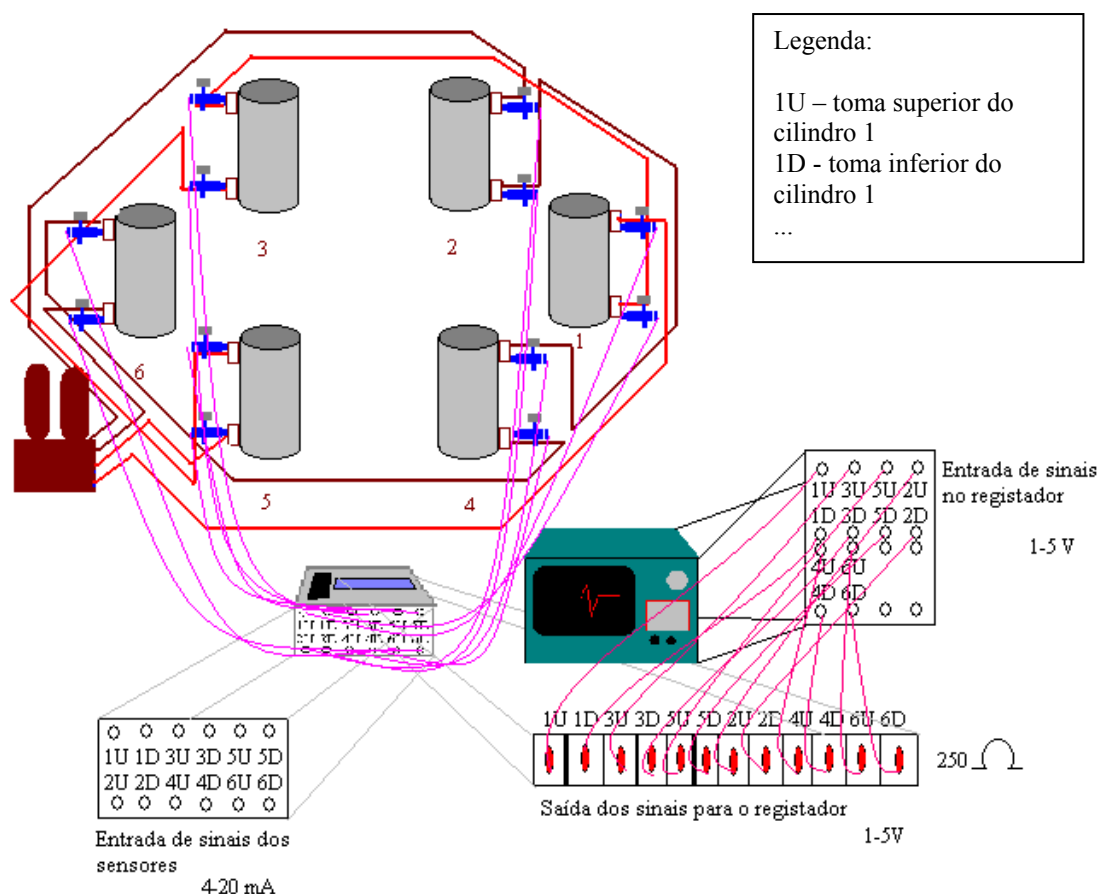


Figura 5.73 – Esquema das ligações implementadas nos cilindros óleo-hidráulicos

Desta forma é avaliado o risco de avaria em função dos diferenciais de pressão medidos.

Outra acção implementada nas tubagens, à semelhança das boas práticas amplamente usadas na família dos equipamentos rotativos, foi a medição do nível de vibrações e a sua relação com os caudais e pressões em consequência dos condicionalismos e das regulações impostas pela operação às válvulas automáticas de controlo do processo produtivo. Como exemplo do atrás exposto apresenta-se nas figuras 5.74 e 5.75 a variação em tempo real do nível de vibração em função da frequência na tubagem da lavagem da pasta da torre DO.

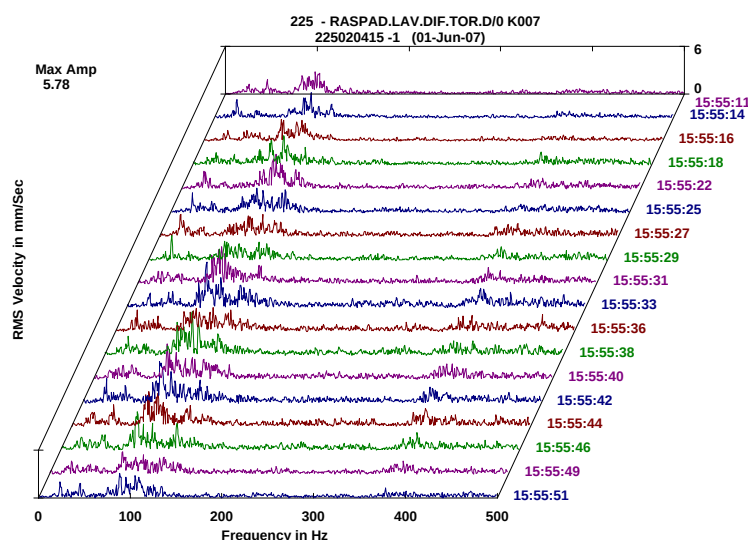


Fig. 5.74 – Variação do nível de vibração com a % da abertura de uma válvula

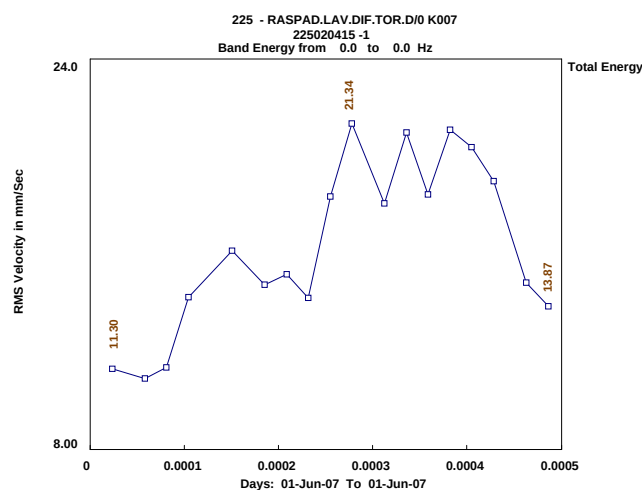


Fig. 5.75 – Variação da energia absorvida pela tubagem da lavagem da torre DO

Neste caso devido aos sustos apenas foi melhorado o sistema de suportes da tubagem apesar de se ter identificado a inadequação da dimensão válvula automática usada.

2º - Medidas de dimensionamento tomadas sobre os recursos dedicados e do nível de manutenção corrente (perfeita e imperfeita) resultantes da aplicação das filas de espera

Em face dos resultados encontrados no subcapítulo 5.5.3.1 apresenta-se na tabela 5.47 o resumo das necessidades de executantes dedicados para cada um dos serviços de mecânica, eléctrica e instrumentação para o atendimento diário dos pedidos de reparação no branqueamento e em toda a linha de pasta com a exclusão dos aparelhos de elevação e da mecânica térmica dos sistemas AVAC devido às suas especificidades.

Tab. 5.47 – Executantes dedicados de cada serviço de manutenção

	Mecânica	Eléctrica	Instrumentação
Branqueamento	2	-	1
Linha de pasta	10	3	3

No final de 2005 verificou-se, como referido no início deste subcapítulo, a decisão de terminar com o *outsourcing* da manutenção. Assim, e por consequência desta decisão, foi revisto o desenho e o dimensionamento organizacional de acordo com o que foi caracterizado no subcapítulo 4.5 e também através de alguns acordos pontuais de rescisão de contratos de trabalho com o grupo Portucel Soporcel.

Também de acordo com o subcapítulo 1.7.1 foi efectuado pela via do *benchmarking* uma comparação com a fábrica do grupo na Figueira da Foz relativamente às qualificações e às multi-valências dos recursos. Assim, foi decidido pela gestão superior implementar na fábrica de Setúbal a partir de 2006 um programa de formação profissional que visou a integração das funções dos executantes da especialidade de electricidade com os da instrumentação e controlo. Esta nova função integrada é executada pelo(s) chamado(s) técnico(s) de controlo e potência denominados por TCP.

Apesar dos pressupostos atrás referidos um dos quais o dos TCP's em desenvolvimento em 2007, e face aos resultados atrás calculados através do modelo de filas de espera apresenta-se, na figura 5.76, uma comparação do efectivo dedicado à manutenção da linha de pasta (*fiber line*) no regime de *outsourcing* verificado ainda em 2005 com o efectivo em regime de *mix, in-outsourcing*, implementado em 2006. Os resultados vêm de encontro com os do estudo do dimensionamento efectuado neste trabalho.

Refere-se que em qualquer das situações são também considerados como trabalhos fortuitos os associados às comunicações (telefones e fax's) e a instalações não directamente produtivas (escritórios, laboratórios, armazéns, etc.) que também são atendidos pela equipa de manutenção dedicada à linha de produção de pasta (*fiber line*).

Assim, e de acordo com a tabela 5.45 da página 337, apresenta-se na figura 5.76 uma comparação do número de executantes (27) usados durante o *outsourcing* da manutenção verificado até 2005 com o número de executantes (22) após aquele contrato e, ainda, o resultado do modelo usado (20) incluindo sempre as necessidades do PM.

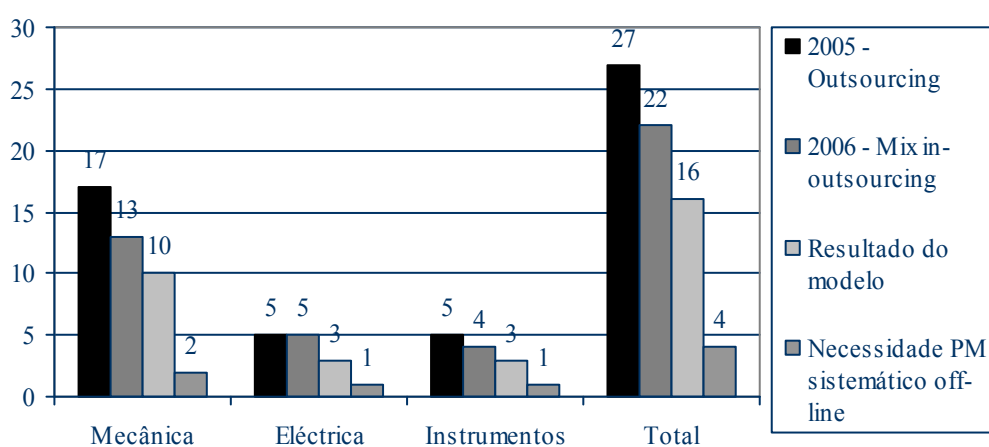


Fig. 5.76 – Comparação do dimensionamento do pessoal dedicado à linha de pasta

A necessidade prevista para a execução do plano de manutenção (PM) teve por base a adequação de forma dinâmica das periodicidades das acções de manutenção sobre os equipamentos em função do seu estado e da intensidade ou risco das condições de funcionamento dos equipamentos (por exemplo funcionamento normal vs situações de paragens e de arranques). Os resultados apresentados e implementados progressivamente a partir de 2006 podem ser comparados com os verificados no subcapítulo 4.2.2 em regime de *outsourcing* concluindo-se que o dimensionamento efectuado conduz a um significativo aumento da produtividade do serviço de manutenção através da redução de pelo menos 7 executantes. Esta redução do pessoal do *front office* da manutenção não foi plenamente atingida devido, essencialmente, ao facto da necessidade já atrás referida da prestação de formação profissional aos executantes das especialidades eléctrica e instrumentos e também por razões da Organização alheias a este trabalho.

Para o atendimento diário dos pedidos de trabalhos das avarias fortuitas (s011 e s012) e atendendo aos pressupostos atrás referidos da integração plena das especialidades eléctrica e instrumentação (TCP's) é previsível de acordo com a figura 5.77 que as sinergias criadas por esse facto se caracterizem pela necessidade de apenas de 4 executantes tendo em atenção de que em cerca de 25% a 30% dos trabalhos são necessários em simultâneo 2 executantes. Os serviços de electricidade e instrumentação a equipamentos e instalações da linha de pasta eram ainda prestados por 10 executantes.

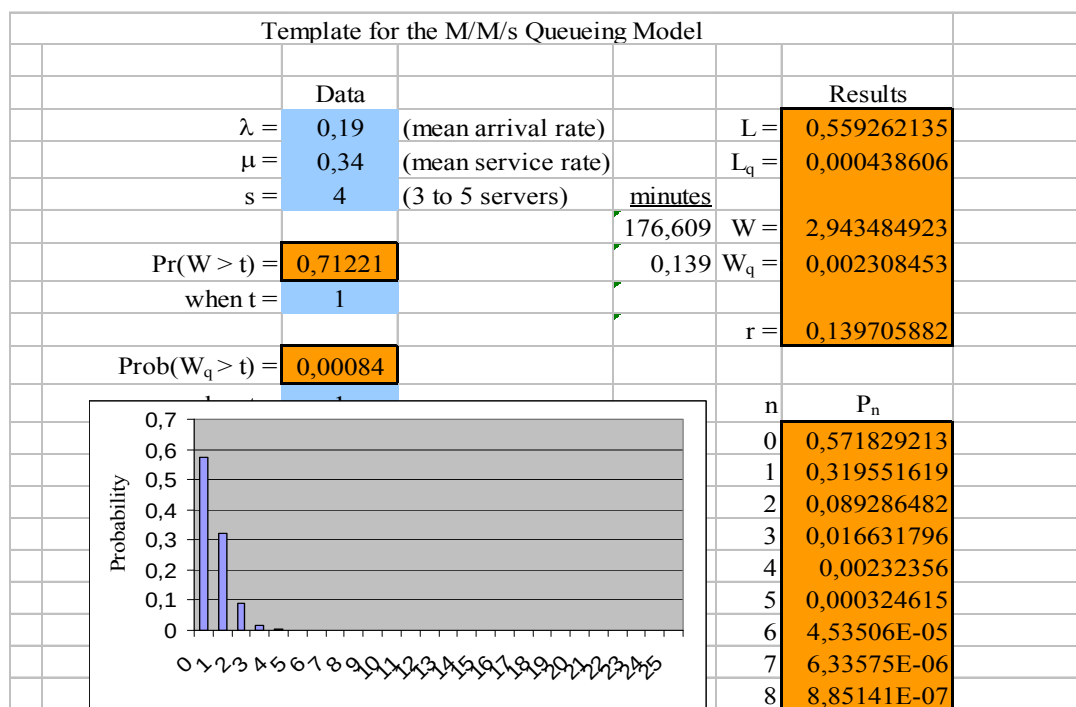


Fig. 5.77 – Previsão do dimensionamento dos TCP's

Finalmente foi prevista, mas não implementada até meados de 2007, a criação de uma equipa reduzida constituída por 1 mecânico e 1 electricista/instrumentista (TCP) dedicados diariamente ao atendimento dos pedidos da produção de trabalhos de pequena duração (com o MTTR menor que 1 hora) à semelhança do que acontece por exemplo nas caixas de atendimento rápido dos supermercados. De facto verificou-se no subcapítulo 5.3.4 que bastantes pedidos de reparação ou de assistência a uma dificuldade operativa dos equipamentos do branqueamento e da linha de pasta a quem é dirigida a nota de avaria têm uma duração reduzida não se justificando por isso as deslocações frequentes do pessoal do serviço (oficina) até aos diferentes equipamentos e vice-versa.

3º - Medidas sobre a caracterização e a previsão das necessidades de subcontratação para atender aos picos de trabalho provenientes de equipamentos que aguardam uma paragem para reparação (perfeita)

Como referido por Leite *et al* (2003) no subcapítulo 1.7.2 e nos subcapítulos 4.1.6.4, 5.4.2 e 5.5.2.3 interessa aqui distinguir os trabalhos em “carteira” relativos aos equipamentos que aguardam uma reparação definitiva (perfeita) até ao nível 5 da AFNOR em situações não planeadas ou planeadas e os daquele nível devido ao facto de não se justificar dimensionar os serviços de manutenção para atender pontualmente e em simultâneo essa quantidade de trabalhos. Assim, de acordo as considerações do subcapítulo 5.5.2.3 as quantidades médias mínimas e máximas dos trabalhos até ao nível 5 são as apresentados na tabela 5.48 verificando-se serem directamente proporcionais aos intervalos de tempo decorrido entre cada uma das paragens de curta duração.

Tab. 5.48 – Quantidade média dos trabalhos até nível 5 a aguardar paragem

Áreas	Serviços de manutenção (especialidades)			
	Mecânica	Eléctrica	Instrumentação	Total
Branqueamento	1	0	1	2
	7	1	2	10
Linha de pasta (<i>fiber line</i>)	10	2	4	16
	20	4	6	30

De acordo com os autores atrás referidos e também verificado na prática são fundamentalmente usadas nestes casos duas formas de contratação:

- A contratação à hora da mão-de-obra necessária por especialidades;
- A contratação de trabalhos por empreitada por preço fixo

Cada uma delas tem vantagens e inconvenientes sendo no caso em estudo a contratação da mão-de-obra necessária à hora e por especialidades a mais usada nas paragens de curta duração. No entanto, como referido no subcapítulo 1.8, é a falta da garantia da qualidade ou ausência de qualificações para as competências requeridas dos recursos contratados ou, ainda, subcontratados um dos maiores problemas verificados.

Por isso a contratação de trabalhos por empreitada apesar de mais caro é muitas vezes usada em detrimento da contratação directa da mão-de-obra paga por cada hora trabalhada. Na tentativa de se minimizarem os riscos associados à falta da qualidade verificada e ao mesmo tempo o preço dos recursos contratados a Direcção Central de Engenharia e Manutenção do grupo Portucel Soporcel enveredou por acordar e contratar as taxas horárias com diferentes empresas de prestação de serviços de manutenção nas diferentes especialidades. Mas, mesmo assim, o problema atrás referido subsiste porque como atrás se viu no final do subcapítulo 5.5.3.1 podem ser necessários pontualmente para os trabalhos fortuitos que aguardam na linha de pasta estas paragens até cerca de 60 executantes das diferentes especialidades. Para além disso também é necessário o devido enquadramento e acompanhamento do pessoal contratado nos trabalhos previstos executar assegurados, normalmente, pelo pessoal executante habitualmente dedicado à linha de pasta (*fiber line*).

De entre as situações de paragens de curta duração referidas no subcapítulo 5.4.2, normalmente de oportunidade ou programadas, a maior duração coincide com a necessidade operacional da lavagem da chamada caldeira de recuperação. Assim, actualmente a periodicidade média destas paragens com uma duração total da lavagem de 35 horas é de 8 a 12 semanas. A figura 5.78 apresenta a relação existente entre o número máximo de executantes necessários para a manutenção fortuita/condicionada sem paragem e com paragem das instalações e o número de executantes considerados para os trabalhos preventivos de verificação, calibração e ensaios na linha de pasta.

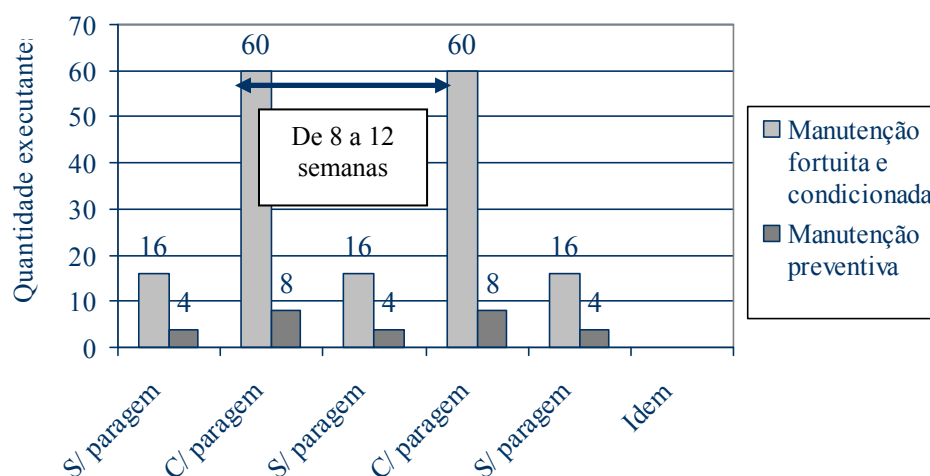


Fig. 5.78 – Necessidade de executantes sem e com paragem das instalações

Assim, é possível caracterizar e implementar medidas de planeamento e programação que assegurem a contratação do número de executantes necessários em simultâneo com uma periodicidade entre 8 a 12 semanas com a qualidade requerida para o atendimento das reparações dos equipamentos coincidente com a lavagem da caldeira de recuperação. Na maioria dos casos o conjunto destas reparações até ao nível 5 da norma AFNOR são efectuadas com durações entre 4 a 8 horas e só excepcionalmente, como se verificou no subcapítulo 5.3.4, são necessárias durações iguais ou superiores a 12 horas. Nestas circunstâncias nas 3 paragens que ocorreram com estas características verificou-se o número de trabalhos a realizar e a sua proporcionalidade em função do tempo decorrido entre elas. Implementou-se a metodologia de dimensionamento referida no capítulo 3.4 e sintetizada na tabela 5.44 do subcapítulo 5.5.3.1. Assim, o número médio de executantes contratados periodicamente corresponderam a cerca de 3 a 4 vezes o número necessário aos 16 executantes para o atendimento dos pedidos diários de reparação sem a paragem das instalações

Face às características do contexto operacional atrás referidas outras medidas que a seguir se apresentam foram propostas e implementadas:

- Selecção de empresas prestadoras de serviços de manutenção industrial com experiência e capacidade de trabalho em unidades de produção de pasta para papel;
- Contratação atempada da quantidade de recursos externos necessários a cada um dos serviços de manutenção nas diferentes especialidades;
- Caracterização e tipificação das competências necessárias dos recursos contratados para a execução de cada tipo de trabalhos previstos;
- Contratação de um chefe de equipa para cada grupo com o máximo de 10 executantes da mesma área de especialização;
- Contratação de prestadores de serviços com competências mais específicas como por exemplo os trabalhos de alinhamento e nivelamento de máquinas; as reparações de bombas hidráulicas; os sistemas óleo-hidráulicos; os variadores de frequência; as soldaduras com gás de protecção e na reparação de equipamentos específicos da indústria da produção de pasta para papel;
- Consignação e a segurança nos trabalhos garantida pelo pessoal interno dedicado a cada área fabril;

- Equipa multidisciplinar de apoio e assistência ao arranque dos equipamentos após paragem;
- Supervisão e controlo dos trabalhos efectuado pelo responsável operacional de cada serviço de manutenção em cada uma das zonas da linha de pasta à sua responsabilidade.

As maiores dificuldades observadas e sentidas centraram-se nos seguintes aspectos:

- i) Deficiente planeamento da(s) data(s) prevista(s) para as paragens de curta duração;
- ii) Deficiente preparação por parte do *back-office* dos trabalhos em carteira no CMMS/SAP R3 a aguardar paragem. A última paragem deste tipo, a de 18 de Outubro de 2007, ocorreu dias antes da data marcada e por isso inesperada foi um exemplo do deficiente planeamento e preparação dos trabalhos. Assim, foram contratados cerca de 70 executantes dos quais 20 para tubagens, acessórios e válvulas manuais; 7 para válvulas automáticas; 4 para motores eléctricos; 4 para bombas hidráulicas; 2 para um transportador; 6 para hastes e cilindro hidráulico; 8 para crivos das torres do branqueamento e os restantes para diversos trabalhos em equipamentos mais ou menos específicos da actividade de produção de pasta para papel.

Até aqui referiram-se os trabalhos de manutenção até ao nível 4 da AFNOR a aguardar paragem de curta duração. Nas paragens de longa duração cuja periodicidade é aproximadamente anual pelas razões apresentadas no subcapítulo 5.4.4 executam-se todos os níveis de manutenção. Até ao nível 4 os serviços de manutenção local da linha de pasta são como no caso das paragens de curta duração responsáveis pelos trabalhos preparados e planeados. Os trabalhos de nível 5 são tratados pelo *back-office* da chamada engenharia de manutenção de acordo com um plano de revisões gerais e sistemáticas a determinados equipamentos específicos e críticos.

Nestas paragens com a duração aproximada a uma semana (cerca de 144 horas) o número de executantes nas reparações dos equipamentos da linha de pasta pode atingir mais de 400 executantes nas diferentes especialidades e o custo dos serviços pode ultrapassar os 400.000€ acrescidos do custo de acompanhamento, supervisão e controlo. Por isso, foi proposta a construção de tabelas com preços fixos para cada tipo de trabalhos previamente negociados e com uma validade anual ou plurianual a usar com os diferentes prestadores de serviços seleccionados com as competências requeridas.

A relação entre a qualidade da execução dos trabalhos de manutenção e o justo custo do serviço prestado é o parâmetro mais importante a seguir pela gestão e determinante na competitividade da organização. Neste sentido apresentam-se na tabela 5.49 uma amostra dos resultados de uma consulta feita a empresas com competências semelhantes para a obtenção de preços por tipos de trabalhos que poderiam ter sido usados na paragem de 18 de Outubro de 2007 atrás referida.

Tab. 5.49 – Comparação dos preços dos trabalhos por tipo

Tipos de trabalho	Custo em euros			Variação
Substituir junta de flange	330	640	104	536
“ “ “	330	117	156	213
Substituir cilindro óleo hidráulico	330	1223	208	1015
Substituir motor eléctrico	560	666	104	562
Substituir rolamento cilindro secador	560	990	980	430
Substituir equipamento específico	4519	1320	624	3895
Substituir acoplamento	1768	554	1250	1214
Soldadura de fissura	660	513	312	348
Substituir rolo	1326	1049	208	1118
Substituir actuador	80	140	-	60
Substituir troço de tubagem	1089	495	624	594
Empancar válvula	32	48	-	16
Substituir caudalímetro	144	200	-	56
Verificação transmissor temperatura	80	90	-	10

Face às variações dos preços apresentados pensamos que se justifica plenamente a negociação por cada tipo dos trabalhos atrás referidos e que visa 4 grandes objectivos:

- 1º - Controlar os preços de execução e consequentemente os custos de manutenção;
- 2º - Obter um conjunto de parcerias com empresas prestadores de serviços de manutenção que assegurem periodicamente recursos com as competências requeridas;
- 3º - Reduzir a burocracia e aumentar a produtividade operacional incluindo também a do serviço de compras (aprovisionamento);
- 4º - Planear e programar eficazmente a actividade operacional e a logística associada.

5.5.4 – Resultados obtidos após a implementação das medidas preconizadas

Neste subcapítulo apresentam-se os resultados obtidos durante a segunda metade de 2006 até Outubro de 2007 correspondentes ao período durante o qual foram implementadas as acções de maior valor para a melhoria a fiabilidade operacional resumidas no quadro 5.13 da página 342 do subcapítulo 5.5.3.2. Faz-se a comparação dos dados e dos resultados agora obtidos com os apresentados no subcapítulo 5.5.3.1 correspondentes ao período de *outsourcing* de 2004 e 2005. São caracterizadas e quantificadas as avarias que ocorrem nas famílias de equipamentos apresentados no subcapítulo 4.1.4. É ainda caracterizada a *performance* dos serviços de manutenção da área do branqueamento e da linha de pasta (*fiber line*) para o atendimento dos pedidos de reparação sem paragem dos equipamentos e com a paragem das instalações. Portanto resumem-se aqui os resultados operacionais obtidos com a aplicação experimental da integração dos modelos parciais apresentados no capítulo 3. Assim, no subcapítulo 5.5.4.1 apresenta-se os resultados do modelo dos riscos proporcionais aplicados aos factores responsáveis pela variação da fiabilidade dos equipamentos; no subcapítulo 5.5.4.2 apresenta-se os resultados do modelo de filas de espera aplicado para o dimensionamento das equipas dedicadas no atendimento diário dos pedidos de reparação e os resultados do modelo de subcontratação aplicado ao atendimento dos picos de trabalho verificados durante a paragem das instalações; finalmente, no subcapítulo 5.5.4.3 reportam-se os custos operacionais de manutenção.

Os dados relativos à quantidade e aos tempos das paragens foram obtidos através do sistema de gestão de paragens e dos Boletins Estatísticos das paragens usados na Portucel Soporcel e as avarias verificadas foram retiradas do CMMS, o SAP/R3, usado pelos serviços de manutenção. Referem-se ainda algumas das dificuldades encontrados na implementação das medidas e por isso devem também ser consideradas na interpretação dos resultados:

- A experimentação realizada foi desenvolvida num contexto operacional real;
- A idade dos equipamentos e das instalações era e é avançada;
- A redução dos custos era e é um dos principais objectivos da Organização em estudo;
- A melhoria da disponibilidade dos equipamentos para produzir é um dos principais indicadores de desempenho seguidos pela Organização.

5.5.4.1 – Resultados obtidos entre 2006 e 2007 através dos riscos proporcionais

Vão ser referidos os aspectos que se relacionam com o risco de avaria e, portanto, com a fiabilidade das famílias de equipamentos estudados. Para além da variação da qualidade dos materiais aplicados na substituição dos componentes durante as reparações dos equipamentos, por vezes associada a aspectos logísticos referidos no subcapítulo 2.6.1, são as operações de reinício da produção em consequência de situações de paragem e posteriores arranques dos equipamentos e, também, o valor acrescentado fornecido pelas acções de manutenção, sem ou com a paragem dos equipamentos, as que mais contribuem, conforme se apresentou na quadro 5.12 do subcapítulo 5.5.3.1, para a redução do risco das avarias nas diferentes famílias de equipamentos.

Assim, começa-se por apresentar na tabela 5.50 a evolução verificada do número de paragens e consequentes arranques dos equipamentos da área do branqueamento desde 2004 até à paragem de grande duração (paragem geral) de Julho de 2007. Em seguida referem-se em particular as acções de manutenção com maior valor e, por isso, as que mais contribuíram para o decréscimo do risco de avaria dos equipamentos.

Tab. 5.50 – Evolução do número de paragens do branqueamento

Tipo de paragem	Responsabilidade	2004	2005	2006	2007 (Junho)
Externa	Outras áreas	63	74	76	30
Interna	Produção	48	49	36	7
	Manutenção	82	49	44	7
Totais		193	172	156	44

Face aos resultados verifica-se que no período compreendido entre 2004 e meados de 2007 ocorreu uma diminuição significativa do número de paragens do branqueamento da responsabilidade interna (produção e manutenção). Em 2007, o número total das paragens foi afectado por outras áreas fabris do processo contínuo da produção como por exemplo devido à falta de pasta a montante do branqueamento originando por isso 13 paragens. A falta de energia eléctrica necessária ao funcionamento dos equipamentos provocou também 7 paragens. A evolução da redução mais significativa do número de paragens verificada desde o final de 2006 provocadas pela da área fabril a montante do branqueamento, a deslinhificação, é apresentada na tabela 5.51.

Tab. 5.51 – Número de paragens da área a montante do branqueamento

2.º semestre 2004 até ao 1.º semestre de 2005	Nov. de 2006 a Fev. de 2007	Março a Junho de 2007
55	19	9

Por outro lado também a evolução do número de paragens desde o final de 2006 até à primeira metade de 2007 do principal equipamento a jusante do branqueamento o transportador de pasta designado por C800 é apresentado na tabela 5.52.

Tab. 5.52 – Número de paragens do equipamento a jusante do branqueamento

2.º semestre 2004/1º semestre de 2005	Nov. de 2006 a Fev. de 2007	Março a Junho de 2007
25	4	1

No subcapítulo 4.1.3 justificou-se a escolha da área do branqueamento principalmente devido ao facto de se verificar um elevado número de falhas funcionais das funções de vedação e condução de fluidos nas diferentes famílias de equipamentos e nas funções de actuação e regulação do processo e, ainda, nas de indicação e controlo. Por isso foram implementadas as medidas apresentadas no subcapítulo 5.5.3.2 para reduzir o risco das avarias correspondentes aos diferentes modos de falha referidos no capítulo 5.

Assim, nos quadros 5.19 e 5.20 apresentam-se, respectivamente, o número de avarias de cada uma das famílias de equipamentos verificadas no período compreendido entre o 2.º semestre de 2004 e o 1.º semestre de 2005 reportadas no subcapítulo 5.2.7.1 e as do período correspondente ao da implementação de algumas das principais medidas com maior valor acrescentado apresentadas no subcapítulo 5.5.3.2 que ocorreram entre Novembro de 2006 e Fevereiro de 2007. O primeiro período atrás referido diz respeito a cerca de 12 meses de funcionamento e o segundo a cerca de 4 meses.

Quadro 5.19 – Número de avarias de cada família de equipamentos entre 2004/2005

Estáticos			Rotativos			Lineares	
Tubag.	Celas	Sensores	Bombas	Motores	Transport	Válvulas	Cilindros
22	3	52	4	3	26	39	41

Refere-se que os dados usados no estudo do risco das avarias nas tubagens apresentados no subcapítulo 5.2.7.1 dizem respeito em particular aos da condução dos fluídos da lavagem da pasta referenciadas pelo número 7 da figura 4.6 da pág. 180 por se ter verificado neste circuito o maior número de avarias. Também os dados usados nas avarias dos cilindros óleo-hidráulicos apresentados no subcapítulo 5.2.7.3 correspondem àquelas em que se verificaram fugas intrínsecas internas ou externas aos cilindros. Assim, o quadro 5.20 apresenta o número de avarias que ocorreram em cada uma das famílias de equipamentos no período de 4 meses compreendidos entre 2006 e 2007.

Quadro 5.20 – Número de avarias de cada família de equipamentos entre 2006/2007

Estáticos			Rotativos			Lineares	
Tubag.	Celas	Sensores	Bombas	Motores	Transport	Válvulas	Cilindros
3	0	7	0	0	2	5	3

As medidas previstas implementar que implicavam a substituição de componentes como por exemplo a qualidade das juntas das uniões das tubagens e outras acções que careciam também da paragem dos equipamentos, como por exemplo para a medição da resistência de isolamento da bobinagem dos motores eléctricos, foram realizadas progressivamente à medida em que as poucas oportunidades operacionais surgiram. Pelo motivo atrás referido só durante a paragem programada de grande duração da unidade fabril de produção de pasta referida no subcapítulo 5.4.4, a chamada de paragem anual, que ocorreu em Julho de 2007 foi possível concluir as medidas preconizadas e as acções de manutenção propostas implementar e cujos custos tiveram ainda cabimento no orçamento da manutenção fabril da linha de pasta (*fiber line*).

Assim, no quadro 5.21 que se segue apresenta-se o número de avarias esperadas no período entre Novembro de 2006 e Outubro de 2007 e as variações verificadas comparativamente com o período compreendido entre o 1.º semestre de 2004 e o 2º semestre de 2005. Desta forma os resultados representam o número de avarias esperadas após a implementação das medidas resultantes da aplicação do modelo dos riscos proporcionais e a sua redução relativamente às que ocorreram no período entre 2004 e 2005 quando, ainda no período de *outsourcing*, nenhuma das práticas operacionais em consequência das medidas atrás referidas tinha sido implementada.

Quadro 5.21 – Nº de avarias esperadas em 2006/2007 e a redução relativa a 2004/2005

Estáticos			Rotativos			Lineares	
Tubag.	Celas	Sensores	Bombas	Motores	Transport	Válvulas	Cilindros
9	1	21	1	1	6	15	9
59%	66%	59%	75%	66%	76%	61%	78%

A tabela 5.53 apresenta um resumo da evolução anual da quantidade de cada uma das principais perdas das funções (avarias) apresentadas no subcapítulo 4.1.3 correspondentes ao período do *outsourcing* de 2005 até ao período chamado de *bestsourcing* da manutenção iniciado em 2006 cuja organização foi caracterizada sucintamente na página 238 do subcapítulo 4.5. São assim quantificadas as avarias verificadas na área do branqueamento enquadradas em cada uma das famílias de equipamentos estáticos, rotativos e lineares estudados especificamente neste trabalho.

Tab. 5.53 – Número de falhas funcionais (avarias) dos equipamentos

Branqueamento da pasta		Média anual das falhas funcionais		
Sistemas	Equipamentos	Até 2005	2006	Até Out. 2007
Circuito óleo-hidráulico (fugas)	Cilindros hidráulicos	25	21	13
Circuitos de filtrados (fugas)	Uniões por flanges	77	27	23
	Empanques hastes*			
	Tubagens			
Anéis de regulação e controlo	Lavagem da pasta	31	15	10
	Circuitos de pasta*	20		
Alimentação eléctrica e comando	Celas e interruptores	12	4	1
Sistemas rotativos accionados	Transporte de pasta	8	7	1
	Bombas MC	5	0	0
	Transmissões	3	0	0
	Motores eléctricos	10	1	1
Indicação e controlo	Cloro residual	39	38	35
	PH			

* Não foram contemplados no estudo

Assim, para se ter uma ideia mais precisa da totalidade de equipamentos estáticos, rotativos e lineares que podem beneficiar da aplicação modelo de fiabilidade suportado pela técnica dos riscos proporcionais apresenta-se na tabela 5.54 a proporção em percentagem da quantidade de equipamentos da área em estudo (uma das áreas fabris mais severas devido à introdução dos reagentes químicos no processo) com a totalidade dos equipamentos da linha de pasta (*fiber line*).

Tab. 5.54 – Proporção dos equipamentos do branqueamento vs linha de pasta

Equipamentos	Linha de pasta	Branqueamento	Proporção
Válvulas automáticas	630	109	17%
Instrumentos de medida	667	127	19%
Motores	566	65	12%
Bombas	336	53	16%
Cilindros óleo-hidráulicos	64	42	65%
Tubagens	-	-	+/- 20%

Finalmente, refere-se que as tubagens da condução de fluídos apesar de só por si não serem consideradas equipamentos representam na área do branqueamento muitas centenas de metros e sua proporção relativa a toda a linha de pasta é da ordem dos 20%.

De notar que por razões inerentes à actividade de produção contínua (*flow shop*) da pasta para papel e à requerida disponibilidade máxima dos equipamentos para produzir verificaram-se antes e depois da implementação das medidas de melhoria da fiabilidade operacional a prática das técnicas referidas no subcapítulo 1.4.1 correspondentes a acções de manutenção perfeita (*good as new*) ou seja aquelas em que para além da reparação ou da substituição dos componentes dos equipamento falhados ou em iminência de falhar se actua naqueles com potencialidade de falha e também acções de manutenção imperfeita (*bad as old*) que condiciona o equipamento ao estado em que se encontrava imediatamente antes de avariar. Neste último caso actuou-se, somente, na parte defeituosa do equipamento, substituindo ou restaurando a sua condição original de funcionamento. A reparação ou a substituição do componente defeituoso foi realizado com critérios técnicos rigorosos mas podem não proporcionar ao equipamento uma probabilidade de avariar semelhante à das acções de manutenção perfeita.

De entre as “acções de manutenção” definidas com maior valor para contrariar as consequências negativas dos factores significativos do risco de avaria definidas no sub-capítulo 5.5.3.2 e implementadas entre o final de 2006 até Julho de 2007 destacam-se:

- No transportador de pasta, o C800, a jusante do branqueamento foi instalado um sistema de auto-alinhamento no tapete que conduz a pasta até às torres de armazenagem. Este sistema de rolos permitiu a redução do número de paragens do branqueamento antes provocado pelo encravamento lógico de protecção existente no sistema de desvio da tela transportadora;
- Foram analisados e corrigidos os tempos (velocidade) de abertura e fecho das válvulas automáticas *on-off*, bem como a condição da vedação na posição de fecho. Nas válvulas automáticas de controlo foram propostas em alguns casos, como por exemplo a válvula do anel de controlo FRC 723, medidas de redimensionamento;
- Foram privilegiadas as acções de manutenção detectivas *off-line* e *on-line* sobre os equipamentos em detrimento dos pedidos de paragem para reparação. Nas paragens, quando ocorreram, foi considerada a execução simultânea de vários trabalhos que aguardavam paragem como, por exemplo, a substituição da qualidade dos materiais das juntas de vedação das flanges das tubagens;
- Foram privilegiadas as acções de manutenção activas durante as paragens de oportunidade ou programadas da área fabril para a inspecção e correcção da condição de partes do equipamento como no caso das caixas de ligações dos motores eléctricos;
- Foram inspeccionados e reparados os interruptores de segurança (*safety-switch*) dos circuitos de alimentação dos motores eléctricos;
- As periodicidades das acções de manutenção foram executadas em cada uma das famílias de equipamentos com intervalos próximos de metade do tempo (dias) dos apresentados na figura 5.58 do subcapítulo 5.5.3.1;
- Foi privilegiada a utilização de sensores de pressão referidos no sub-capítulo 5.5.3.2 para a avaliação *on-line* do estado de funcionamento dos cilindros óleo-hidráulicos.

O *out-put* dos sensores que se apresenta na figura 5.79 permitiu, para além da diminuição das fugas, preconizar acções de correcção planeadas de alinhamento e nivelamento dos cilindros e, ainda, a redução de roturas nos crivos da lavagem da pasta.

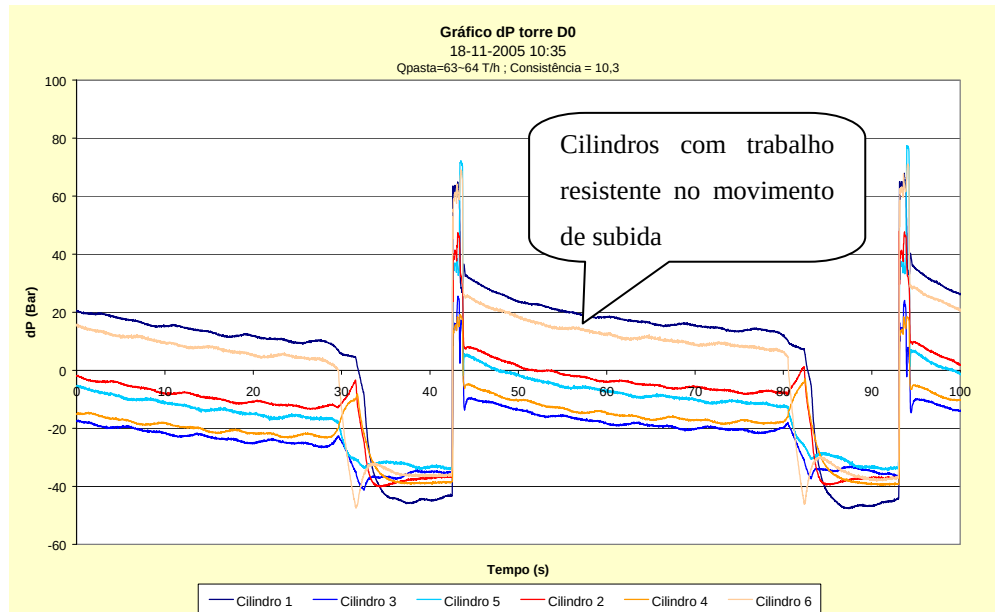


Fig. 5.79 – Gráfico do diferencial de pressão (DP) de cada cilindro óleo-hidráulico

O ajuste do crivo é baseado no alívio de tensões do mesmo que se consegue através do aperto ou desaperto das porcas de acoplamento entre os cilindros e as hastes do crivo. Conforme se apresenta na figura 5.80 esse destensionamento é estabelecido pelo equilíbrio entre a força de tensão do crivo e o valor de DP durante a descida deste.

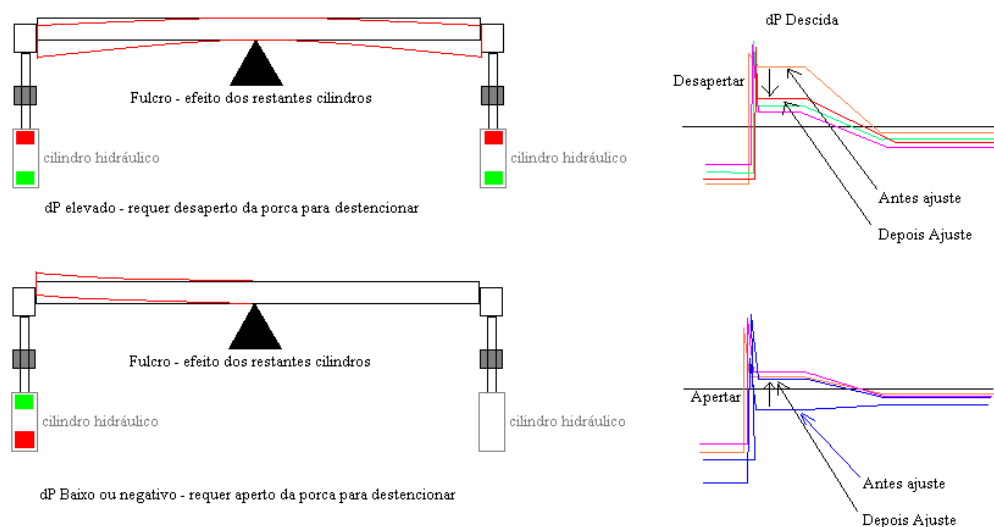


Fig. 5.80 – Modos de tensão dos braços do crivo e o resultado dos gráficos DP

- Usou-se uma equipa de manutenção multi-disciplinar para assistência e acompanhamento nos arranques dos equipamentos estáticos, rotativos e de regulação para acções de correcção imediata;

- Durante o horário de trabalho das 8 às 17 horas o funcionamento normal dos equipamentos foi assegurado por um executante com competências na área mecânica e óleo-hidráulica, um serralheiro mecânico e um instrumentista recorrendo se necessário a acções de manutenção imperfeita; durante as paragens de curta e de grande duração já atrás referidas estes executantes foram reforçados com mais executantes na medida preconizada pelo modelo de subcontratação usado neste trabalho;

Por outro lado de entre as “acções da produção” definidas com maior valor para contrariar as consequências negativas dos factores significativos do risco de avaria apresentados no capítulo 5.5.3.1 cujas respostas foram caracterizadas no subcapítulo 5.5.3.2 e implementadas entre o final de 2006 até Julho de 2007 destacam-se:

- A informação prestada aos operadores da importância de se seguir os procedimentos de arranque dos equipamentos;

- Consiciencialização da importância do controlo da variação da consistência da pasta em particular nas situações de arranque e nas de variações da quantidade de produção;

- Confirmou-se junto dos operadores dos equipamentos a importância, já atribuída pelos fabricantes e também confirmada neste trabalho, da relação entre a velocidade da pasta nas torres do branqueamento e os tempos de subida dos cilindros óleo-hidráulicos.

A identificação de todas as ordens de trabalho e a descrição da maioria das acções de manutenção e(ou) de melhoria efectuadas foram verificadas no sistema de gestão da manutenção (SAP/R3) da fábrica de pasta de Setúbal do grupo Portucel Soporcel seleccionando o período correspondente ao da implementação das medidas. Em face das várias acções tomadas em consequência das medidas implementadas foram recolhidos novos dados das avarias ocorridas entre o final de 2006 e meados de 2007 sobre os mesmos factores que influenciaram a fiabilidade. O anexo XVIII apresenta para além das acções de manutenção e os registos das avarias uma análise de sobrevivência.

Assim, começa-se por apresentar na tabela 5.55 os dados com apenas as 4 avarias verificadas nas tubagens da lavagem da pasta entre Novembro de 2006 a Fevereiro de 2007 e, em seguida, um resumo dos resultados obtidos da análise de sobrevivência conjunta com as avarias que ocorreram nas tubagens da extracção de filtrados causadas pelos mesmos modos de falha.

Tab. 5.55 – Dados e valor das covariáveis das avarias nas tubagens da lavagem

Data	Hora	Tempo (dias)	A	B	C	D	E	F	K1	K	H	G	Localização (torre)
18.11.06			1	11	1	55	9	90	0	0	1	30	E2 - Lavagem
23.01.07		14	0	15	1	80	4	22	1	0	1	30	D1.1 – Lav.
10.02.07		14	1	10	1	78	4	22	1	0	1	30	D1.1 – Lav.
15.02.07		5	0	8	1	80	3,5	22	1	0	1	35	D1.2 – Lav.

Os resultados da análise da regressão também apresentados no Anexo XVIII obtidos com o *software* de Pezzullo usado no subcapítulo 5.5.3.1 mostram alterações dos coeficientes em relação aos obtidos antes da implementação das acções operacionais.

Overall Model Fit...

Chi Square = 28.5699; df = 8; p = 0.0004

Coefficients, Std Errs, Signif and Conf Intervs...

Var	Coeff.	StdErr	p value	Lo95%	Hi95%	
1	-6.7095	4.2255	0.1123	-14.9493	1.5303	
2	-1.2368	0.7093	0.0812	-2.6199	0.1463	Nível de vibração
3	2.0883	26.4171	0.9370	-49.4250	53.6016	
4	-1.2004	0.6917	0.0827	-2.5493	0.1485	Temperatura da tubagem
5	0.6628	3.7297	0.8590	-6.6101	7.9356	
6	0.1009	0.0640	0.1149	-0.0239	0.2257	
7	37.2023	28.112	0.1857	-17.6175	92.0222	
8	0.0279	0.1463	0.8490	-0.2574	0.3131	

Apenas o nível de vibração e a temperatura tomaram valores quase significativos.

Neste caso o valor em dias da função de sobrevivência base correspondente a uma probabilidade superior a 0,5 é abaixo apresentada:

N.º de dias	Probabilidade(s)
4.0000	1.0000
5.0000	0.9990
6.0000	0.9912
8.0000	0.9306
14.000	0.5785

Como atrás se pode identificar através dos resultados apresentados o *p-value* relativo às covariáveis em análise já anteriormente consideradas no sub-capítulo 5.2.7.1 não atingiram um valor menor que 0,05 de forma a conduzir à identificação de variáveis significativas que possam influenciar as avarias verificadas. Assim, apresenta-se na figura 5.81 uma nova função de sobrevivência comparável com a apresentada no sub-capítulo 5.5.3.1 mas agora também representativa de todas as tubagens da lavagem, contralavagem e extração de filtrados referenciadas na figura 4.6 do subcapítulo 4.1 com as referências 7, 8 e 10 do quadro 5.1 do subcapítulo 5.2.2 porque apenas ocorreram 4 avarias nas tubagens da lavagem (ref.^a 7) consideradas à partida no estudo.

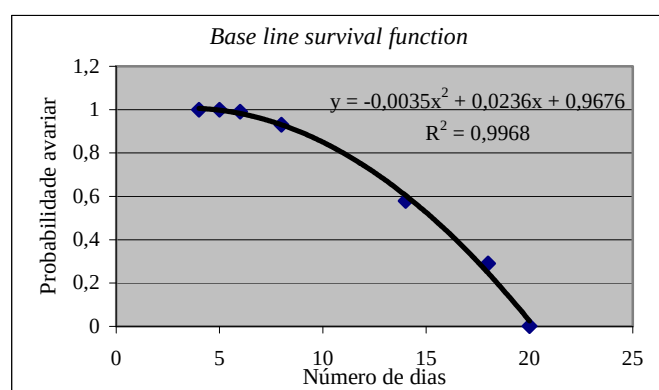


Fig. 5.81 – Função de sobrevivência durante a implementação das medidas

Quantificam-se assim os resultados através da menor probabilidade de avaria em consequência das medidas implementadas e das acções caracterizadas no quadro 5.15 do subcapítulo 5.5.3.2 e que se generalizaram às restantes tubagens do branqueamento durante o período compreendido entre Novembro de 2006 e Julho de 2007.

Da análise dos resultados atrás apresentados das tubagens e à semelhança dos que a seguir se apresentam para os restantes equipamentos, permite que se estabeleça uma relação causa-efeito e, por isso, proporciona ao *back-office* operacional uma metodologia de melhoria contínua do tipo *Plan-Do-Check-Act*. No caso das tubagens das covariáveis significativas antes determinadas e apresentadas na tabela 5.41 da página 326 do subcapítulo 5.5.3.1 apenas a que corresponde ao nível de vibração pode ainda ser considerado monitorar e melhorar depois da implementação das medidas. O MTBF (*mean time between failures*) associado ao risco de avaria das tubagens antes de 10 dias passou para os 15 dias depois das acções operacionais tomadas de entre as quais se destacam as de manutenção e os cuidados da condução (produção) dos equipamentos durante as fases de arranque. Em seguida e para verificação dos resultados pode ser observado através do Anexo XVIII os dados dos registos históricos do CMMS da manutenção, o sistema SAP/R3, os eventos descritos por “fuga” do processo da condução dos fluídos da lavagem e da extracção de filtrados no período compreendido entre Novembro de 2006 e Outubro de 2007.

A tabela 5.56 apresenta agora os dados relativos às avarias que se verificaram nos equipamentos com movimento linear, os cilindros óleo-hidráulicos, que accionam os crivos da lavagem da pasta. Os dados reportam-se até antes da paragem das instalações de grande duração (paragem geral) que ocorreu em Julho de 2007.

Tab. 5.56 – Dados obtidos das avarias nos cilindros óleo-hidráulicos

Data	Hora	Tempo (dias)	Localização (torre)
04.12.06		34	E1.2 – haste cil 5
06.12.06		2	D1.1 - fuga flange
29.12.06		23	E1.2 – fuga cil 2
08.01.07		10	D2 – fuga cil 2
07.02.07		30	D1.2 – rosca haste cil 1
01.03.07		22	D0 - cil 5 (monitorização)
19.03.07		18	E1.2 – fuga no bloco
23.03.07		4	- fuga cil 4
23.05.07		61	D1.2 – fuga cil 1/Subst

O MTBF (*mean time between failures*) dos 42 cilindros foi neste período de 23 dias e o encontrado entre 2004 e 2005 correspondente a um risco de avaria superior a uma probabilidade de 0,5 situava-se entre os 11 dias e os 13 dias.

Atendendo à redução verificada no número de avarias e também dos consequentes custos directos do material usado nas reparações e substituições faz-se referência à importância já atrás referida das acções de manutenção baseadas no diagnóstico *on-line* da condição de funcionamentos dos cilindros óleo-hidráulicos através da análise dos gráficos DP apresentados na figura 5.79 da página 365 onde foi também possível detectar as seguintes situações:

- Tensionamento dos crivos accionados (linhas de pressão na descida);
- Fugas internas nos cilindros óleo-hidráulicos verificadas através pressão diferencial igual zero na subida e descida;
- Hastes da transmissão do movimento linear partidas quando a pressão diferencial toma um valor de zero num dos troços de subida ou descida;
- Tempos de subida e descida (eixo dos x-x em cada troço do movimento);
- Alinhamento dos êmbolos dos cilindros, isto é a posição dos cilindros correspondente ao instante em que cada um atinge a válvula de purga com um aumento da pressão diferencial no último troço do movimento de subida;
- Calibração das válvulas de purga (valor de DP no final da subida após destensionamento dos crivos);
- Qualidade do amortecimento do movimento de descida verificado através do gráfico na parte final da descida;
- Indicação qualitativa do valor da consistência da pasta obtido através do valor médio das pressões durante a descida do crivo e após destensionamento.

Conseguiu-se assim reduzir o número de avarias dos cilindros óleo-hidráulicos por fugas de óleo e evitar também fracturas no sistema dos crivos lavadores da pasta. Assim, para confirmação dos resultados apresenta-se no Anexo XIX uma listagem da pesquisa efectuada no sistema SAP/R3 dos registos históricos dos eventos descritos por “cilindro” e por “fuga” no período compreendido entre Novembro de 2006 e Outubro de 2007 alguns dos quais como atrás referido, a exemplo dos verificados em 01.03.07, detectados pelo equipamento *on-line* agora usado pelos serviços de manutenção.

O número de avarias dos cilindros óleo-hidráulicos foi reduzido tendo-se evitando também eventuais fracturas dos sistemas accionados porque a grande parte das potenciais avarias (falhas) não chegaram ocorrer devido ao diagnóstico proactivo das condições incorrectas do funcionamento do sistema. Finalmente, refere-se que estas condições de funcionamento do sistema de elevação óleo-hidráulico são impostas pela própria operação (produção) razão pela qual foram consideradas e, posteriormente, identificadas como significativas na tabela 5.42 da página 326 do subcapítulo 5.5.3.1 as covariáveis “velocidade da subida da pasta nas torres” do branqueamento da pasta e a “velocidade da subida dos cilindros óleo-hidráulicos”.

Nas 6 bombas hidráulicas estudadas não ocorreram entre Outubro de 2006 até à paragem geral das insalações verificada em Julho de 2007 qualquer avaria intrínseca a estes equipamentos excepto, como se apresenta no Anexo XX, no subsistema de vácuo a elas associado, nomeadamente nas bombas P062, P082 e P122 onde ocorreram encravamentos com pasta e prisões no rotor. O risco de avaria com probabilidade superior a 0,5 determinado no período compreendido entre 2004 e 2005 foi cerca de 70 dias. Nestas bombas de pasta de média consistência estão instalados *on-line* sensores de vibração conforme se apresenta na figura 5.82 que permitem a análise em tempo real da condição de funcionamento destes equipamentos.



Fig. 5.82 – Aspecto do sensor de vibração montado numa bomba de pasta

As paragens ou as avarias de âmbito eléctrico que ocorreram entre Novembro de 2006 e Maio de 2007 nos motores bombas de pasta MC (média consistência) atrás referidas são apresentadas na tabela 5.77 mas, também aqui, tal como no caso das bombas de pasta, as ocorrências mais significativas ocorreram ao nível do sub-sistema de vácuo.

Também se verificou uma avaria no motor da bomba de óleo de lubrificação da bomba de pasta P062. Os sistemas em estudo não avariaram.

Tab. 5.77 - Dados obtidos das avarias nos motores eléctricos

Data	Hora	Tempo (Dias)	Ocorrência	Localização
18.12.06		48	Disparo da protecção térmica*	P122
18.12.06		-	Disparo da protecção térmica*	P102
10.02.07		54	Paragem	P062
23.02.07		13	Paragens	P122
12.04.07		48	Disparo da protecção térmica*	P082

* Paragem e arranque do motor e da instalação por encravamento lógico

Para a confirmação dos resultados apresenta-se no Anexo XXI uma listagem da pesquisa efectuada no sistema SAP/R3 dos registos históricos dos eventos descritos por “P*” no período compreendido entre Novembro de 2006 e Outubro de 2007.

O MTBF anteriormente calculado através do número de avarias verificadas entre 1999 e 2005 era cerca de 116 dias. O risco de avaria com probabilidade superior a 0,5 determinado entre 2004 e 2005 situava-se entre 129 e 243 dias e na presente contagem de tempo com 211 dias não se verificou qualquer avaria nos 6 motores em análise.

Nas celas ou arrancadores eléctricos e também nos *safety-switchs* dos motores das bombas de pasta atrás referidos também não ocorreram avarias entre Novembro de 2006 e Maio de 2007. O risco de avaria para uma probabilidade superior a 0,5 conforme se apresentou na tabela 5.41 do subcapítulo 5.5.3.1 era de 172 dias. O MTBF calculado entre 1999 e 2005 foi de 170 dias. Assim, para a confirmação dos dados apresenta-se no Anexo XXII uma listagem da pesquisa efectuada no CMMS da manutenção, o sistema SAP/R3, dos registos históricos dos eventos descritos por “p*”, “rep*” e “sml1elin” no período compreendido entre Novembro de 2006 e Outubro de 2007. O registo apresentado do evento de 2007/04/12 corresponde a um posto de transformação de energia da alimentação eléctrica que é comum à área do branqueamento e à crivagem e como tal não faz parte do estudo.

Nas válvulas automáticas de controlo do processo e nas válvulas *on-off* instaladas no sistema da lavagem da pasta e da extracção de filtrados ocorreram 8 avarias no período compreendido entre Novembro de 2006 e Maio de 2007. A tabela 5.58 e o Anexo XXIII apresentam as datas, o tipo de ocorrência e a sua localização.

Tab. 5.58 - Dados obtidos das avarias das válvulas automáticas

Data	Tempo (dias)	Ocorrência	Localização
15.11.06		FC 723 da lavagem	Lavagem
20.11.06		FC 511 c/ mau funcionamento	Extracção
07.12.06		KS 1702 c/ anomalia	Contra-lavagem
25.01.07		KS 586 não fecha	Contra-lavagem
07.01.07		HI 1717 não abre	
23.02.07		Válvula <i>on-off</i> da E1.1 não abre	
27.02.07		Válvula da extracção da E2	Extracção
30.04.07		Reparar válvula 1710	Contra-lavagem

Dos eventos apresentados na tabela 5.58 apenas 3 se repetiram durante um período de quase um ano na válvula do anel de controlo FC 723 (comparar com a fig. 4.24 da página 194) cujas datas retirados do sistema SAP/R3 são apresentadas no quadro 5.22.

Quadro 5.22 - Avarias registadas no SAP/R3 entre 01.11.06 e 31.10.07

2006/11/08	01:37:00	SMLTINST	FIC723 DA “DO” SEM CONTROLO
2006/11/15	08:24:00	SML1ELIN	FIC 723 LAVAGEM DA D0
2007/09/10	10:09:00	SML1ELIN	FIC 723 COM ANOMALIA

Nos sensores em linha instalados na área do branqueamento da pasta a situação da sua fiabilidade não se alterou substancialmente relativamente ao período relativo a 2004 e 2005 correspondente ao período do *outsourcing* da manutenção. De facto, continua a existir um elevado número de pedidos de intervenção aos serviços de instrumentação para estes dispositivos nomeadamente os da medição do valor do PH e do chamado residual de dióxido de cloro na pasta. As acções mais frequentes, constantes no Anexo XXIV, são as de limpeza originadas pela sujidade e a colmatação dos elementos de medida dos sensores. A frequência destas intervenções continua entre os 7 e os 15 dias.

O transportador de pasta C800 a jusante do branqueamento foi um dos principais equipamentos responsáveis pela diminuição muito significativa do número de paragens do branqueamento apresentadas na tabela 5.50 da página 359 do subcapítulo 5.5.4.1. Toda a produção de pasta é processada por este equipamento cuja função é transportar a pasta para as torres de armazenagem a jusante do branqueamento. De facto, ao serem instalados rolos auto-alinhadores permitiu a correcção da centragem da tela no transportador provocada pelas variações de produção e, muitas vezes, simultaneamente, pela variação da consistência da pasta. Assim, evitaram-se cerca de 40% das paragens da instalação, ou seja o branqueamento, por não ter actuado o encravamento lógico de protecção do sistema por desalinhamento da tela transportadora. Neste equipamento apenas ocorreram, de acordo com o Anexo XXV, entre 01.11.06 e 31.10.07 duas paragens de acordo com o sistema SAP/R3 (CMMS) que a seguir se referem:

2006/12/20 11:27:00 SML1ELIN C800 COM ANOMALIA . NÃO TRABALHA

2007/01/06 08:38:00 SMLTELE C800 em SB

Assim, em função do conjunto dos resultados atrás apresentados e obtidos em 2007 após a implementação das medidas e das consequentes acções operacionais com maior valor sobre os factores significativos que estiveram na origem das avarias dos equipamentos em estudos apresentam-se, na figura 5.83, os intervalos de tempo em dias agora conseguidos e comparáveis com os da figura 5.58 da página 329 do subcapítulo 5.5.3.1 para uma probabilidade de ocorrência de avaria superior ou igual a 0,5 para cada uma das famílias dos equipamentos estudados.

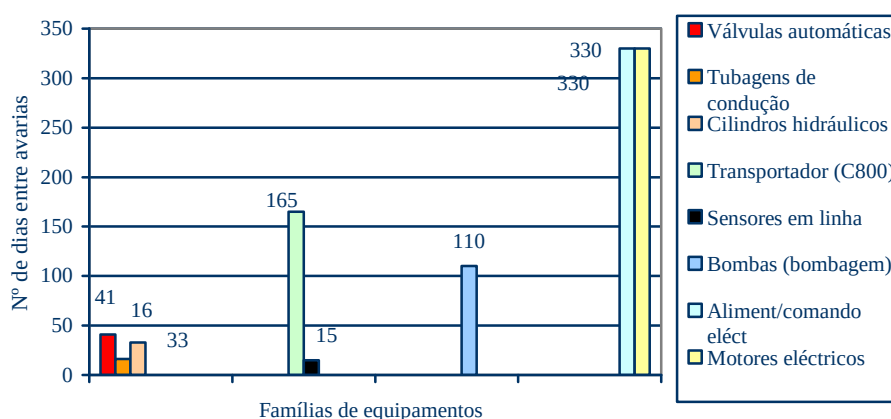


Fig. 5.83 – N.º de dias de 2007 com risco de avaria igual a 0,5

Destaca-se entre os diferentes equipamentos estudados a evolução muito positiva da *performance* do risco de avaria conseguida com o transportador C800 ao atingir um valor de 165 dias em 2007 enquanto que em 2005 aquele valor era de apenas 20 dias. Assim, também se confirmou através dos dados de 2006 (até Outubro) apresentados no quadro 5.23 e obtidos através do Relatório da Estatística de Paragens de produção de pasta e papel do complexo de Setúbal que das 44 paragens do branqueamento apenas 18 foram devidas à inoperacionalidade por avaria do transportador C800.

Quadro 5.23 – Paragens do branqueamento por avaria entre Jan. e Out. de 2006

Manutenção	Interna	Não Programada	Transportador de pasta p/torre amaz. 3 (C800)	Eléctrica	Tempo	3,72
					Nº Paragens	6
			Branqueamento (geral)	Mecânica	Tempo	3,83
					Nº Paragens	12
				Eléctrica	Tempo	1,75
					Nº Paragens	3
				Mecânica	Tempo	2,00
					Nº Paragens	1
			Instrumentação	Tempo	0,92	
					Nº Paragens	1
			Bombagem média consist. p/torre D 1.1	Instrumentação	Tempo	1,25
					Nº Paragens	1
			Bomba de pasta para tanque de diluição	Mecânica	Tempo	0,17
					Nº Paragens	1
			Armaz.-bombagem de filtrado - fase D 1.1	Eléctrica	Tempo	0,67
					Nº Paragens	1
			Bombagem média consist. p/torre E/O1.2	Eléctrica	Tempo	1,42
					Nº Paragens	1
			Lavador por difusão - torre E 2	Instrumentação	Tempo	0,50
					Nº Paragens	1
			Lavador por difusão - torre D2	Eléctrica	Tempo	0,17
					Nº Paragens	1
			Bombagem vácuo da bb mc p/torre D2	Mecânica	Tempo	0,25
					Nº Paragens	1
			Misturador n.1 de dióxido cloro	Eléctrica	Tempo	4,00
					Nº Paragens	2
			Permutador de dióxido cloro	Mecânica	Tempo	2,50
					Nº Paragens	1
Armaz.-bombagem de filtrado - fase D 1.2	Eléctrica	Tempo	0,17			
		Nº Paragens	1			
Armaz.-bombagem de filtrado - fase E/O	Eléctrica	Tempo	0,43			
		Nº Paragens	3			
Unidade de amaz./bombagem de ClO2	Mecânica	Tempo	0,58			
		Nº Paragens	2			
Manutenção não programada tempo total						32,07
Manutenção não programada n.º paragens						44

As figuras 5.84 e 5.85 apresentam, respectivamente, a evolução comparativa da indisponibilidade ou do *downtime* da área do branqueamento da pasta entre 2006 e 2007 originada pelas avarias dos equipamentos ou pelos dispositivos de protecção a eles associados verificando-se que o *up-time* melhorou a partir de Outubro de 2006.

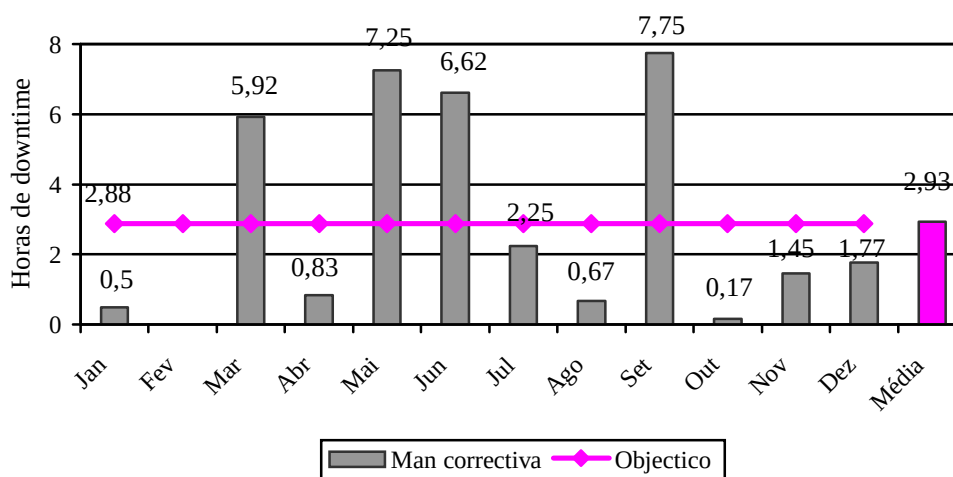


Fig. 5.84 – Evolução dos tempos de paragem do branqueamento em 2006

A figura 5.85 apresenta também uma evolução muito positiva dos tempos de paragem (*downtime*) que se verificaram desde o final de 2006 e durante o ano de 2007.

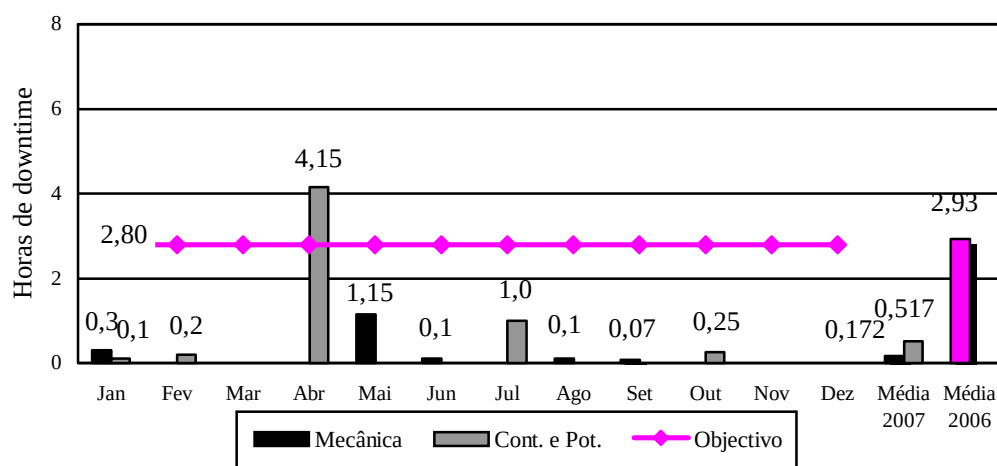


Fig. 5.85 – Evolução dos tempos de paragem do branqueamento em 2007

Os resultados agora obtidos em 2007 com este trabalho podem ser comparados com os indicadores operacionais das páginas 227 e 231 correspondentes ao melhor valor da ineficiência tempo da manutenção e ao número de paragens verificados em 2004.

5.5.4.2 – Os resultados obtidos entre 2006 e 2007 através das filas de espera

Os resultados a seguir apresentados relacionam-se, em boa parte, com as acções de manutenção e são uma consequência dos resultados da aplicação do modelo dos riscos proporcionais do subcapítulo anterior. Assim, as figuras 5.86 e 5.87 apresentam, respectivamente, a evolução do número de notificações de trabalhos efectuadas para a área piloto, o branqueamento, dirigidos a cada um dos serviços de manutenção entre Outubro e Maio de 2005 e 2007. De notar, como já atrás referido, que em 2006 foi integrado o serviço de electricidade e instrumentação e por isso surge o serviço sml1elin. O sml1plas (plásticos) não é analisado em particular por não se justificar.

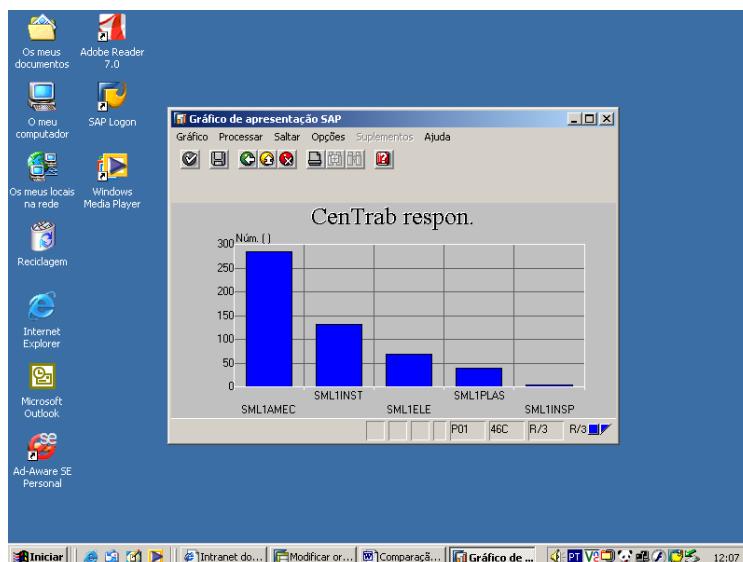
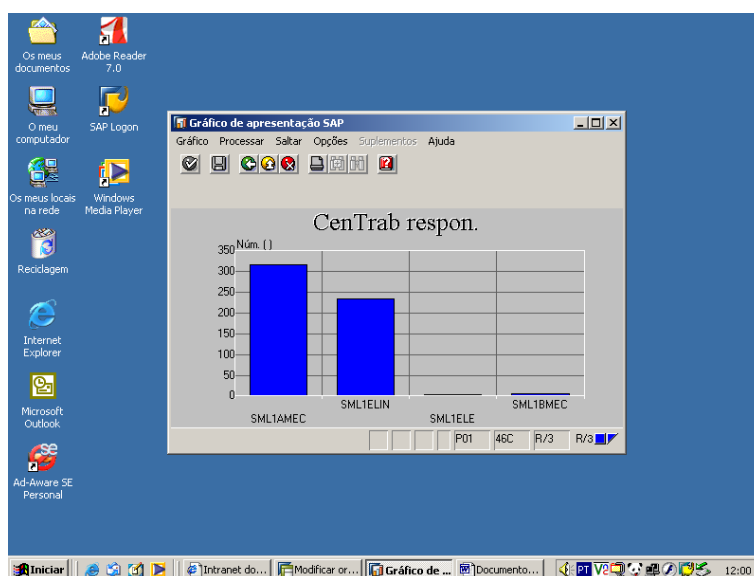


Fig. 5.86 - Número de notificações para o branqueamento entre Outubro 04 e Maio 05



5.87 - Número de notificações para o branqueamento entre Outubro 06 e Maio 07

[illegible]

S	Nota	P	A	Data	HincioAv	CenTra	1 Ordem	Descrição	Local de instalação	Campo sel	Notificador	Tp
	2039564			2006/12/04	18:27:11	SMLTAMEC	3336247	Prestação variável 06.11.06 a 12.11.06	S159		SRUICANUTO	M1
	2038963			2006/10/12	10:49:27		3329413	Dig 1 Cota 20 m Linha picagem	S220		SMANUELGAO	M1
	2038969			2006/							SRUICANUTO	M1
	2039001			2006/							SRUICANUTO	M1
	2040405			2007/							SRUICANUTO	M1
	2039718			2006/							SRUICANUTO	M1
	2039236			2006/							SRUICANUTO	M1
	2040070			2007/							SRUIGATO	M1
	2039535			2006/							SRUICANUTO	M1
	2040820			2007/							SRUICANUTO	M1
	2041060			2007/							SMANUELGAO	M1
	2040346			2007/							SRUICANUTO	M1
	2040068			2007/							SMANUELGAO	M1
	2040385			2007/							SGELANARISO	M1
	2039463		C	2006/							SMANUELGAO	M1
	2040644			2007/							SMANUELGAO	M1
	2040378			2007/							SMANUELGAO	M1
	2039853		C	2007/							SMANUELGAO	M1
	2041166		C	2007/							SMANUELGAO	M1
	2040461		C	2007/							SGELANARISO	M1
	2040520		C	2007/							SMANUELGAO	M1
	2039470		C	2006/							SGELANARISO	M1
	2039960			2007/							SGELANARISO	M1
	2040748			2007/							SRUICARVALHO	M1
	2039800			2007/							SMANUELGAO	M1
	2040285		I	2007/							SMANUELGAO	M1
	2039068		C	2006/							SMANUELGAO	M1
	2039067		C	2006/							SMANUELGAO	M1
	2040488		C	2007/							SMANUELGAO	M1
	2039854		C	2007/01/08	13:54:59		3340493	subt. conj. rotativo da P310 dig 1	S220-10-01-05	220P310	SMANUELGAO	M1

CenTrab respon.

Nº (t)

SMLTELIN SMLTBMEC SMLTAMEC SMLTELE

1000 800 600 400 200 0

1200 1000 800 600 400 200 0

1400 1200 1000 800 600 400 200 0

1600 1400 1200 1000 800 600 400 200 0

1800 1600 1400 1200 1000 800 600 400 200 0

2000 1800 1600 1400 1200 1000 800 600 400 200 0

2200 2000 1800 1600 1400 1200 1000 800 600 400 200 0

2400 2200 2000 1800 1600 1400 1200 1000 800 600 400 200 0

2600 2400 2200 2000 1800 1600 1400 1200 1000 800 600 400 200 0

2800 2600 2400 2200 2000 1800 1600 1400 1200 1000 800 600 400 200 0

3000 2800 2600 2400 2200 2000 1800 1600 1400 1200 1000 800 600 400 200 0

3200 3000 2800 2600 2400 2200 2000 1800 1600 1400 1200 1000 800 600 400 200 0

3400 3200 3000 2800 2600 2400 2200 2000 1800 1600 1400 1200 1000 800 600 400 200

378

A figura 5.90 apresenta um exemplo de uma amostra da forma da distribuição horária dos pedidos de reparação efectuados aos serviços de manutenção para os equipamentos de toda a linha de pasta entre as 8h00 e as 17h00 durante o mês de Setembro de 2007. Com base na amostra verificou-se de acordo com a mesma metodologia usada no sub-capítulo 5.3.3 que os intervalos de tempo compreendidos entre cada uma das chegadas dos pedidos de reparação se aproximam razoavelmente de uma distribuição estatística exponencial negativa e, por isso, continua-se a verificar a propriedade particular da ausência de memória característica da referida distribuição estatística.

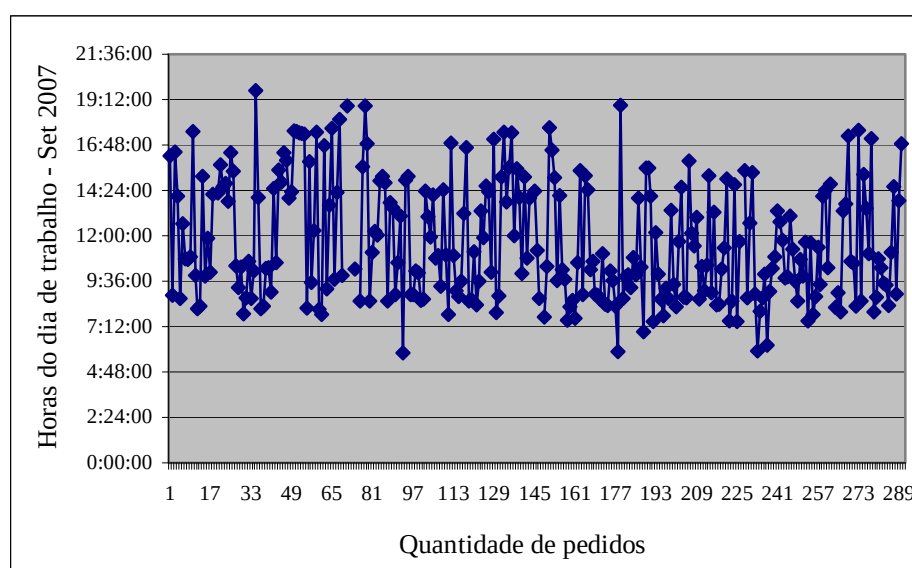


Fig. 5.90 - Distribuição horária dos pedidos de reparação de Outubro de 2007

Por outro lado, a tabela 5.59 apresenta a evolução do número de pedidos de reparação efectuadas em 2006 e 2007 entre as 8h00 e as 17h00 correspondendo a cerca de 1850 horas de funcionamento dos equipamentos do branqueamento.

Tab. 5.59 – Notificações efectuadas no branqueamento de Jan.a Nov. 07

Ano	Sml1amec	Sml1ele	Sml1inst	Sml1elin
2006	270	-	-	250
2007 (Nov)	250	-	-	215
2007 (projecção)	273	-	-	235

Relativamente a toda a linha de produção de pasta a tabela 5.60 sintetiza também a evolução do número dos pedidos de reparação efectuados para todos os equipamentos.

Tab. 5.60 – Notificações efectuadas na linha de pasta de Janeiro a Novembro de 2007

Ano	Sml1amec	Sml1bmec	Sml1ele	Sml1inst	Sml1elin
2006	1100	1250	-	-	1700
2007 (sem. 42)	1100	800	-	-	1400
2007 (projectão)	1350	1000	-	-	1700

Assim, resumem-se na tabela 5.61 os resultados relativos à taxa das chegadas dos pedidos de reparação e os respectivos tempos médios verificados no branqueamento e na linha da pasta (*fiber line*) anteriores às medidas preconizadas neste trabalho durante o *outsourcing* da manutenção e os obtidos depois da implementação das medidas.

Tab. 5.61 – Evolução da taxa e do tempo médio entre avarias

Período	Áreas	Taxa chegada	Tempo médio	Taxa chegada	Tempo médio	Taxa chegada	Tempo médio
		Mecânica		Eléctrica		Instrumentos	
Antes	Branq.	0,25	4	0,053	19	0,11	9
	Linha pasta	0,59	1,7	0,18	5,7	0,2	5
Depois	Branq.	0,21	4,3	0,17*/5,8*			
	Linha pasta	0,52	1,9	0,76*/1,3*			

* Os serviços de electricidade e instrumentação foram integrados em 2007

Através dos resultados atrás obtidos do sistema SAP/R3 verificou-se que na 1.ª metade de 2007 o número de notificações aumentou em parte devido às acções efectuadas em consequência das medidas referidas no subcapítulo 5.5.3.2 e também devido à paragem geral das instalações de Julho. Posteriormente, na 2.ª metade do ano o número de notificações diminuiu. Conclui-se que o número de notificações de reparação foi efectuado com intervalos de tempo que continuam a seguir, aproximadamente, uma distribuição exponencial negativa e que o seu número médio efectuado aos serviços de manutenção em 2007 no regime do *mix insourcing-outsourcing* é menor ao verificado em 2005 no regime de *outsourcing*. Por outro lado, de acordo com uma amostra temporal de Janeiro a Abril de 2006 e de 2007 que se apresenta nas figuras 5.91 e 5.92, também o número de horas trabalhadas pelos diferentes serviços de manutenção diminuiu (cuja selecção no SAP/R3 foi efectuada por sml1*) na área em estudo.

S	Ordem	Oper	Trab. plan.	Trabalho real	Un.	Data lang.	CenTrabPln	Texto de confirmação	Causa	Criado em
	3299530	0010	16.0	0.300	H	2006/04/27	SMLTAMEC	1-00009201-LUIS SIMÕES		2006/04/28
	3299975	0030	6.0	3.320	H		SMLTELIN	1-00000955-JOSÉ BRITO		2006/04/28
	3299975	0030	6.0	3.320	H		SMLTELIN	1-00000654-PAULO LOPES		2006/04/28
	3300458	0010	28.0	3.820	H		SMLTAMEC	1-00009010-JOÃO RIBEIRO		2006/04/28
	3300458	0010	28.0	3.830	H		SMLTAMEC	1-00009010-JOÃO RIBEIRO		2006/04/28
	3306762	0010	2.0	3.700	H		SMLTAMEC	1-00009009-JOAOQUIM PARDETE		2006/04/28
	3306870	0030	2.0	0.970	H		SMLTAMEC	1-00000185-GERALDO FERNANDES		2006/04/28
	3306870	0030	2.0	3.430	H		SMLTAMEC	1-00000185-GERALDO FERNANDES		2006/04/28
	3306870	0030	2.0	0.770	H		SMLTAMEC	1-00009008-ANTÔNIO DIOGO		2006/04/28
	3306870	0030	2.0	5.030	H		SMLTAMEC	1-00009008-ANTÔNIO DIOGO		2006/04/28
				38,390		2006/04/27				
	3297599	0010	18.0	2.320	H	2006/04/28	SMLTAMEC	1-00009007-CARLOS RATINHO		2006/04/29
	3297599	0010	18.0	2.120	H		SMLTAMEC	1-00009007-CARLOS RATINHO		2006/04/29
	3297599	0010	18.0	3.850	H		SMLTAMEC	1-00009009-JOAOQUIM PARDETE		2006/04/29
	3297599	0010	18.0	0.100	H		SMLTAMEC	1-00009009-JOAOQUIM PARDETE		2006/04/29
	3299530	0010	16.0	3.820	H		SMLTAMEC	1-00009201-LUIS SIMÕES		2006/04/29
	3300458	0010	28.0	2.800	H		SMLTAMEC	1-00000185-GERALDO FERNANDES		2006/04/29
	3300458	0010	28.0	3.980	H		SMLTAMEC	1-00009010-JOÃO RIBEIRO		2006/04/29
	3300458	0010	28.0	3.080	H		SMLTAMEC	1-00009010-JOÃO RIBEIRO		2006/04/29
	3306166	0010	20.0	1.520	H		SMLTAMEC	1-00009201-LUIS SIMÕES		2006/04/29
	3306850	0010	0.0	1.550	H		SMLTELIN	1-00000654-PAULO LOPES		2006/04/29
	3307049	0010	0.0	1.750	H		SMLTELIN	1-00000654-PAULO LOPES		2006/04/29
	3307049	0010	0.0	3.900	H		SMLTELIN	1-00009600-JOAOQUIM REBOLA		2006/04/29
	3307095	0010	4.0	0.650	H		SMLTAMEC	1-00009008-ANTÔNIO DIOGO		2006/04/29
	3307095	0010	4.0	3.100	H		SMLTAMEC	1-00009009-JOAOQUIM PARDETE		2006/04/29
	3307116	0010	2.0	2.330	H		SMLTAMEC	1-00009201-LUIS SIMÕES		2006/04/29
	3307121	0010	4.0	1.670	H		SMLTAMEC	1-00000185-GERALDO FERNANDES		2006/04/29
	3307132	0020	0.0	0.720	H		SMLTAMEC	1-00000185-GERALDO FERNANDES		2006/04/29
				38,660		2006/04/28				
				2,376,660						

Fig. 5.91 - Horas trabalhadas sml1* s01* de Janeiro a Abril de 2006 no branqueamento

S	Ordem	Oper	Trab. plan.	Trabalho real	Un.	Data lang.	CenTrabPln	Texto de confirmação	Causa	Criado em
	3354786	0010	1.0	1.630	H	2007/04/24	SMLTAMEC	1-00009201-LUIS SIMÕES		2007/04/25
	3354804	0020	0.0	2.120	H		SMLTELIN	1-00006002-NOEL VENTURA		2007/04/25
				19,050		2007/04/24				
	3351625	0010	20.0	1.720	H	2007/04/26	SMLTAMEC	1-00009008-ANTÔNIO DIOGO		2007/04/27
	3353042	0030	8.0	1.620	H		SMLTAMEC	1-00009008-ANTÔNIO DIOGO		2007/04/27
	3354172	0010	0.0	2.330	H		SMLTAMEC	1-00009009-JOAOQUIM PARDETE		2007/04/27
	3354287	0010	6.0	6.630	H		SMLTAMEC	1-00009009-JOAOQUIM PARDETE		2007/04/27
	3354400	0010	16.0	10.020	H		SMLTAMEC	1-00009007-CARLOS RATINHO		2007/04/27
	3354865	0050	0.0	8.000	H		SMLTELIN	1-00000456-MANUEL GUERREIRO		2007/04/27
	3354865	0050	0.0	3.350	H		SMLTELIN	1-00000955-JOSÉ BRITO		2007/04/27
	3354865	0050	0.0	7.680	H		SMLTELIN	1-00000955-JOSÉ BRITO		2007/04/27
	3354865	0050	0.0	3.320	H		SMLTELIN	1-00001238-NUNO CHAGAS		2007/04/27
	3354865	0050	0.0	8.020	H		SMLTELIN	1-00001238-NUNO CHAGAS		2007/04/27
	3354953	0010	6.0	0.770	H		SMLTAMEC	1-00009010-JOÃO RIBEIRO		2007/04/27
	3354953	0010	6.0	3.720	H		SMLTAMEC	1-00009010-JOÃO RIBEIRO		2007/04/27
	3354955	0010	0.0	4.180	H		SMLTAMEC	1-00009008-ANTÔNIO DIOGO		2007/04/27
				61,360		2007/04/26				
	3350119	0010	12.0	3.520	H	2007/04/27	SMLTAMEC	1-00009201-LUIS SIMÕES		2007/04/28
	3354172	0010	0.0	3.370	H		SMLTAMEC	1-00009201-LUIS SIMÕES		2007/04/28
	3354400	0010	16.0	3.820	H		SMLTAMEC	1-00009008-ANTÔNIO DIOGO		2007/04/28
	3354865	0050	0.0	3.430	H		SMLTELIN	1-00000456-MANUEL GUERREIRO		2007/04/28
	3355036	0010	2.0	9.870	H		SMLTELIN	1-00000270-VIRGOLINO PARREIRA		2007/04/28
	3355037	0010	8.0	3.030	H		SMLTELIN	1-00000456-MANUEL GUERREIRO		2007/04/28
	3355037	0010	8.0	4.480	H		SMLTELIN	1-00000955-JOSÉ BRITO		2007/04/28
	3355037	0010	8.0	5.320	H		SMLTELIN	1-00000955-JOSÉ BRITO		2007/04/28
	3355037	0010	8.0	4.420	H		SMLTELIN	1-00001238-NUNO CHAGAS		2007/04/28
	3355037	0010	8.0	1.950	H		SMLTELIN	1-00001238-NUNO CHAGAS		2007/04/28
	3355045	0010	2.0	3.430	H		SMLTELIN	1-00009301-MANUEL CALADO		2007/04/28
				46,640		2007/04/27				
				1,731,340						

Fig. 5.92 - Horas trabalhadas sml1* s01* de Janeiro a Abril de 2007 no branqueamento

Para o mesmo período de tempo e assumindo-se à partida que as faltas de registos de picagens às ordens de manutenção não variaram significativamente verificou-se uma redução de 645 horas no atendimento dos pedidos de reparação efectuados para os diferentes serviços de manutenção dos equipamentos da área do branqueamento.

Relativamente ao atendimento dos pedidos de reparação dos equipamentos de toda linha de pasta (*fiber line*) são apresentadas nas figuras 5.93 e 5.94 as horas trabalhadas pelos serviços de electricidade e de instrumentação e na figura 5.95 as horas relativas ao “sml1elin” resultante da integração dos 2 serviços cujo processo se iniciou em 2006.

S	Ordem	Oper	Trab.plan	Trabalho real	Un.	Data lanç.	CenTrabPh	Texto de confirmação	Causa	Criado em
	325535	0020	7.0	1.680	H	2005/04/27	SMLTELE	1-00000209-HUMBERTO SILVANO REI...		2005/04/28
	325535	0020	7.0	3.650	H		SMLTELE	1-00000209-HUMBERTO SILVANO REI...		2005/04/28
	325535	0020	7.0	3.680	H		SMLTELE	1-00000270-VIRGOLINO GONÇALVES P...		2005/04/28
	325535	0020	7.0	3.450	H		SMLTELE	1-00000270-VIRGOLINO GONÇALVES P...		2005/04/28
	3255672	0010	1.6	1.620	H		SMLTELE	1-00000209-HUMBERTO SILVANO REI...		2005/04/28
	3255705	0010	2.0	1.950	H		SMLTELE	1-00000181-ROGERIO VASCO DE MAT...		2005/04/28
	3255730	0010	4.0	3.520	H		SMLTELE	1-00000443-CARLOS JOSE M BRITO C...		2005/04/28
	3255733	0010	2.0	1.470	H		SMLTELE	1-00000181-ROGERIO VASCO DE MAT...		2005/04/28
				22.940		2005/04/27				
	3228303	0010	24.0	1.300	H	2005/04/28	SMLTELE	1-00000181-ROGERIO VASCO DE MAT...		2005/04/29
	3255535	0020	7.0	3.470	H		SMLTELE	1-00000209-HUMBERTO SILVANO REI...		2005/04/29
	3255580	0010	4.0	2.820	H		SMLTELE	1-00000181-ROGERIO VASCO DE MAT...		2005/04/29
	3255915	0010	4.0	3.720	H		SMLTELE	1-00000209-HUMBERTO SILVANO REI...		2005/04/29
	3255919	0010	4.0	2.250	H		SMLTELE	1-00000181-ROGERIO VASCO DE MAT...		2005/04/29
	3255965	0020	1.0	0.680	H		SMLTELE	1-00000181-ROGERIO VASCO DE MAT...		2005/04/29
	3255967	0010	1.8	1.870	H		SMLTELE	1-00000796-Antonio Francisco Faria		2005/04/30
	3255968	0010	4.0	5.800	H		SMLTELE	1-00000796-Antonio Francisco Faria		2005/04/30
				21.910		2005/04/28				
	3228303	0010	24.0	0.470	H	2005/04/29	SMLTELE	1-00000181-ROGERIO VASCO DE MAT...		2005/04/30
	3251974	0010	12.0	2.520	H		SMLTELE	1-00000181-ROGERIO VASCO DE MAT...		2005/04/30
	3255714	0010	3.0	2.600	H		SMLTELE	1-00000443-CARLOS JOSE M BRITO C...		2005/04/30
	3255734	0010	2.0	0.630	H		SMLTELE	1-00000270-VIRGOLINO GONÇALVES P...		2005/04/30
	3255915	0010	4.0	1.500	H		SMLTELE	1-00000209-HUMBERTO SILVANO REI...		2005/04/30
	3256002	0020	1.0	0.620	H		SMLTELE	1-00000181-ROGERIO VASCO DE MAT...		2005/04/30
	3256109	0010	4.0	1.680	H		SMLTELE	1-00000209-HUMBERTO SILVANO REI...		2005/04/30
	3256149	0010	2.0	2.750	H		SMLTELE	1-00000209-HUMBERTO SILVANO REI...		2005/04/30
	3256187	0010	2.0	2.730	H		SMLTELE	1-00000181-ROGERIO VASCO DE MAT...		2005/04/30
				15.500		2005/04/29				
				1.599.900						
				2.3						

Fig. 5.93 - Horas trabalhadas sml1ele* s01* de Jan a Abril de 2005 – Linha de pasta

S	Ordem	Oper	Trab.plan	Trabalho real	Un.	Data lanç.	CenTrabPh	Texto de confirmação	Causa	Criado em
	3255216	0010	2.0	3.030	H	2005/04/22	SML1INST	1-00000654-Paulo Alexandre Ramos Lopes		2005/04/23
	3255223	0010	8.0	2.680	H		SML1INST	1-00000654-Paulo Alexandre Ramos Lopes		2005/04/23
	3255223	0010	8.0	2.730	H		SML1INST	1-00009600-Joaquim Rebola		2005/04/23
	3255233	0010	3.0	1.180	H		SML1INST	1-00000207-ISMAEL ANTONIO FERREI...		2005/04/23
	3255247	0020	3.0	1.630	H		SML1INST	1-00000207-ISMAEL ANTONIO FERREI...		2005/04/23
	3255247	0020	3.0	2.570	H		SML1INST	1-00000207-ISMAEL ANTONIO FERREI...		2005/04/23
				29.440		2005/04/22				
	3254808	0010	20.0	3.680	H	2005/04/26	SML1INST	1-00009600-Joaquim Rebola		2005/04/27
	3255223	0010	8.0	3.530	H		SML1INST	1-00000654-Paulo Alexandre Ramos Lopes		2005/04/27
	3255520	0020	2.0	3.550	H		SML1INST	1-00000207-ISMAEL ANTONIO FERREI...		2005/04/27
	3255526	0010	2.0	3.470	H		SML1INST	1-00009600-Joaquim Rebola		2005/04/27
	3255566	0010	2.0	3.700	H		SML1INST	1-00000207-ISMAEL ANTONIO FERREI...		2005/04/27
				17.930		2005/04/26				
	3255223	0010	8.0	3.380	H	2005/04/27	SML1INST	1-00000654-Paulo Alexandre Ramos Lopes		2005/04/28
	3255223	0010	8.0	2.530	H		SML1INST	1-00000654-Paulo Alexandre Ramos Lopes		2005/04/28
	3255223	0010	8.0	3.380	H		SML1INST	1-00009600-Joaquim Rebola		2005/04/28
	3255223	0010	8.0	3.430	H		SML1INST	1-00009600-Joaquim Rebola		2005/04/28
	3255725	0010	2.0	3.570	H		SML1INST	1-00000207-ISMAEL ANTONIO FERREI...		2005/04/28
				16.290		2005/04/27				
	3254503	0010	8.0	1.950	H	2005/04/28	SML1INST	1-00000654-Paulo Alexandre Ramos Lopes		2005/04/29
	3255223	0010	8.0	1.500	H		SML1INST	1-00000654-Paulo Alexandre Ramos Lopes		2005/04/29
	3255939	0010	2.0	3.680	H		SML1INST	1-00000654-Paulo Alexandre Ramos Lopes		2005/04/29
				7.130		2005/04/28				
	3254808	0010	20.0	2.770	H	2005/04/29	SML1INST	1-00009600-Joaquim Rebola		2005/04/30
	3255939	0010	2.0	1.730	H		SML1INST	1-00000654-Paulo Alexandre Ramos Lopes		2005/04/30
	3255939	0010	2.0	3.370	H		SML1INST	1-00009600-Joaquim Rebola		2005/04/30
	3256108	0010	3.0	3.500	H		SML1INST	1-00000207-ISMAEL ANTONIO FERREI...		2005/04/30
	3256185	0010	3.0	2.850	H		SML1INST	1-00000207-ISMAEL ANTONIO FERREI...		2005/04/30
				14.220		2005/04/29				
				1.866.430						

Fig. 5.94 - Horas trabalhadas sml1inst* s01* de Jan a Abril de 2005 – Linha de pasta

Finalmente, a figura 5.95 apresenta uma amostra de 2007 do número de horas trabalhadas pelo “sml1elin” que integra os serviços de electricidade e de instrumentação.

S	Ordem	Oper	Trab.plan	Trabalho real	Un.	Data lanç.	CentTrabPh	Texto de confirmação	Causa	Criado em
	3354652	0010	1.0	1.580	H	2007/04/24	SML1ELIN	1-00000209-HUMBERTO CHAGAS		2007/04/25
	3354657	0010	8.0	1.850	H		SML1ELIN	1-00000209-HUMBERTO CHAGAS		2007/04/25
	3354657	0010	8.0	3.070	H		SML1ELIN	1-00000209-HUMBERTO CHAGAS		2007/04/25
	3354675	0010	16.0	3.650	H		SML1ELIN	1-00000270-VIRGOLINO PARREIRA		2007/04/25
	3354721	0010	2.0	0.600	H		SML1ELIN	1-00000181-ROGÉRIO SEGURA		2007/04/25
	3354721	0010	2.0	0.580	H		SML1ELIN	1-00000181-ROGÉRIO SEGURA	0004	2007/04/25
	3354721	0010	2.0	0.780	H		SML1ELIN	1-00000181-ROGÉRIO SEGURA		2007/04/25
	3354734	0030	3.0	3.600	H		SML1ELIN	1-00006002-NOEL VENTURA		2007/04/25
	3354771	0010	4.0	3.700	H		SML1ELIN	1-00001238-NUNO CHAGAS		2007/04/25
	3354771	0010	4.0	3.230	H		SML1ELIN	1-00001238-NUNO CHAGAS		2007/04/25
	3354800	0010	2.0	2.320	H		SML1ELIN	1-00000270-VIRGOLINO PARREIRA		2007/04/25
	3354801	0010	2.0	1.400	H		SML1ELIN	1-00000270-VIRGOLINO PARREIRA		2007/04/25
	3354804	0020	0.0	2.120	H		SML1ELIN	1-00006002-NOEL VENTURA		2007/04/25
				39.100		2007/04/24				
	3354865	0050	0.0	8.000	H	2007/04/26	SML1ELIN	1-00000456-MANUEL GUERREIRO		2007/04/27
	3354865	0050	0.0	3.350	H		SML1ELIN	1-00000555-JOSÉ BRITO		2007/04/27
	3354865	0050	0.0	7.680	H		SML1ELIN	1-00000555-JOSÉ BRITO		2007/04/27
	3354865	0050	0.0	3.320	H		SML1ELIN	1-00001238-NUNO CHAGAS		2007/04/27
	3354865	0050	0.0	8.020	H		SML1ELIN	1-00001238-NUNO CHAGAS		2007/04/27
				30.370		2007/04/26				
	3354865	0050	0.0	3.430	H	2007/04/27	SML1ELIN	1-00000456-MANUEL GUERREIRO		2007/04/28
	3355036	0010	2.0	9.870	H		SML1ELIN	1-00000270-VIRGOLINO PARREIRA		2007/04/28
	3355037	0010	8.0	3.030	H		SML1ELIN	1-00000456-MANUEL GUERREIRO		2007/04/28
	3355037	0010	8.0	4.480	H		SML1ELIN	1-00000555-JOSÉ BRITO		2007/04/28
	3355037	0010	8.0	5.320	H		SML1ELIN	1-00000555-JOSÉ BRITO		2007/04/28
	3355037	0010	8.0	4.420	H		SML1ELIN	1-00001238-NUNO CHAGAS		2007/04/28
	3355037	0010	8.0	1.950	H		SML1ELIN	1-00001238-NUNO CHAGAS		2007/04/28
	3355045	0010	2.0	3.430	H		SML1ELIN	1-00009301-MANUEL CALADO		2007/04/28
				35.930		2007/04/27				
				3.332.380						

Fig. 5.95 - Horas trabalhadas sml1elin*s01*de Jan a Abril de 2007 – Linha de pasta

Neste caso e tendo por base a amostra dos trabalhos efectuados entre Janeiro e Abril, assumindo-se que as faltas dos registos de picagens às obras não variaram significativamente, o número de horas trabalhadas pelo serviço sml1elin em 2007 diminuiu cerca de 133 horas relativamente aos serviços sml1ele (electricidade) e sml1inst (instrumentação). A figura 5.96 apresenta uma amostra significativa dos tempos de reparação cuja média (MTTR) se situa agora num valor inferior a 2,5 horas.

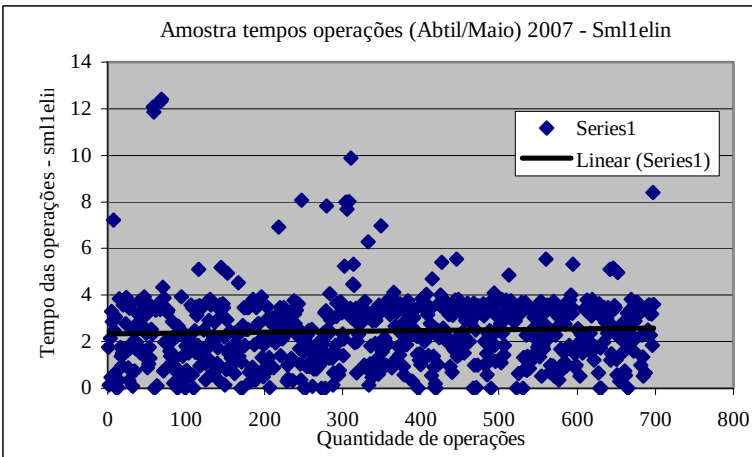


Fig. 5.96 – Amostras dos tempos de reparação do sml1elin

A figura 5.97 apresenta a relação entre os valores exponenciais teóricos e os valores reais dos tempos de reparação do serviço de electricidade e instrumentos (sml1elin) de onde se pode verificar uma boa correlação para os trabalhos até 6 horas de duração.

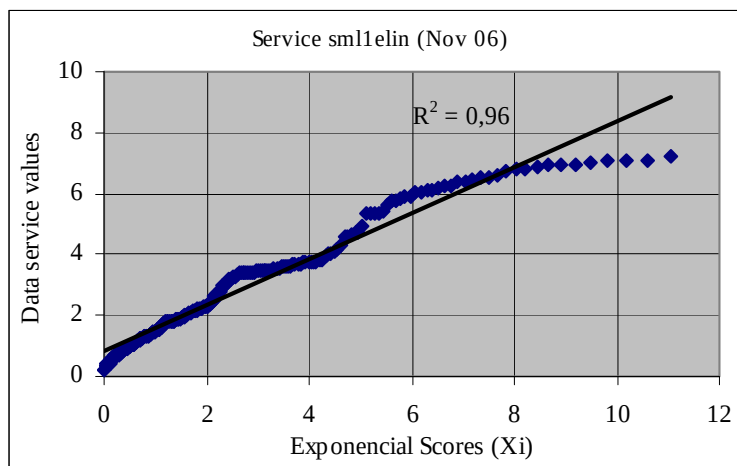


Fig. 5.97 – Relação exponencial das durações dos trabalhos

Também a relação entre os tempos acumulados de reparação e o número acumulado de reparações apresentada na figura 5.98 se verifica constante evidenciando-se assim, como também já verificado no subcapítulo 5.3.4, que os tempos de reparação continuam a ajustar-se com uma distribuição exponencial negativa.

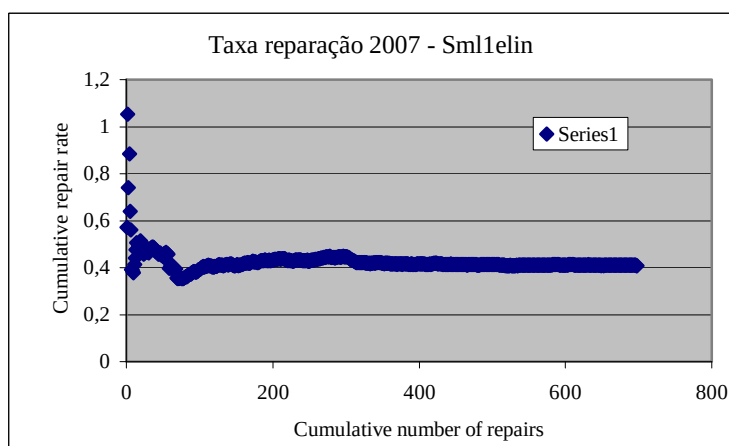


Fig. 5.98 – Convergência da taxa de reparação do sml1elin

Relativamente ao serviço mecânico e em particular o sml1amec que atende aos pedidos de reparação da área piloto, o branqueamento, é também apresentada na figura 5.99 a confirmação da lineridade dos tempos.

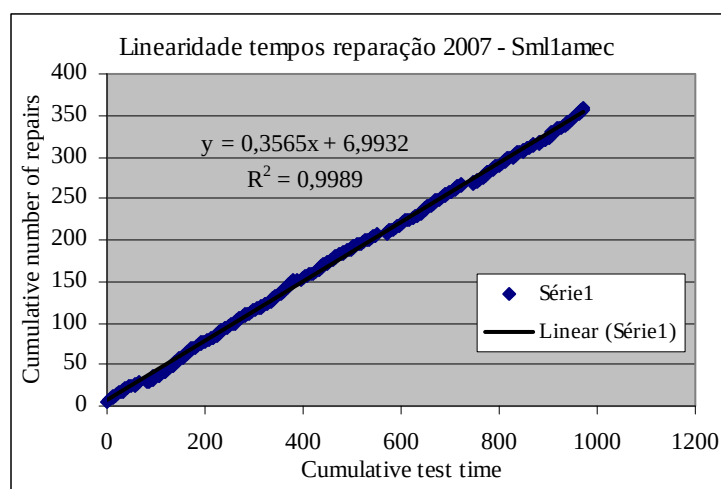


Fig. 5.99 – Relação entre as reparações e os respectivos tempos

A relação entre os tempos acumulados de reparação do serviço mecânico e o número acumulado de reparações apresentadas na figura 5.100 verifica-se tender para constante evidenciando assim, como também foi verificado no subcapítulo 5.3.4, que os tempos de reparação continuam a ajustar-se a distribuição exponencial negativa.

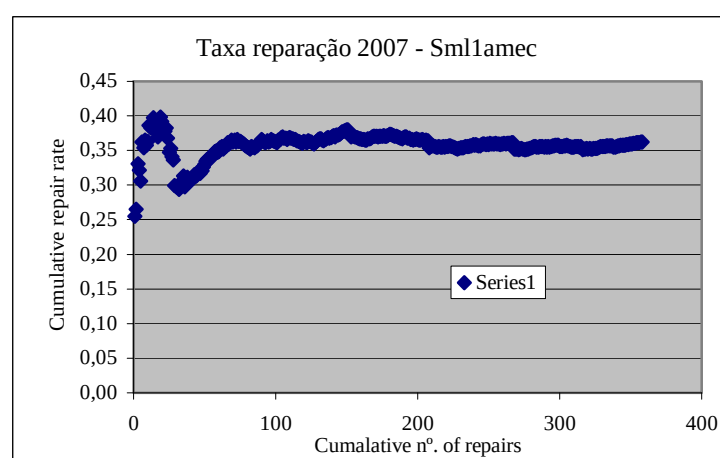


Fig. 5.100 – Convergência da taxa de reparação do sml1amec

A figura 5.101 apresenta uma amostra das frequências das durações dos trabalhos mecânicos no final de 2006 e início de 2007 com intervalos próximos de 2 horas onde se pode verificar que mais de 80 % dos trabalhos tiveram uma duração inferior a 4 horas. O primeiro intervalo dos tempos, ou seja até 2 horas, contempla um número reduzido de trabalhos, como no subcapítulo 5.3.4, devido a existir uma considerável quantidade de trabalhos de pequena duração cujos registos de picagens dos tempos não são efectuados.

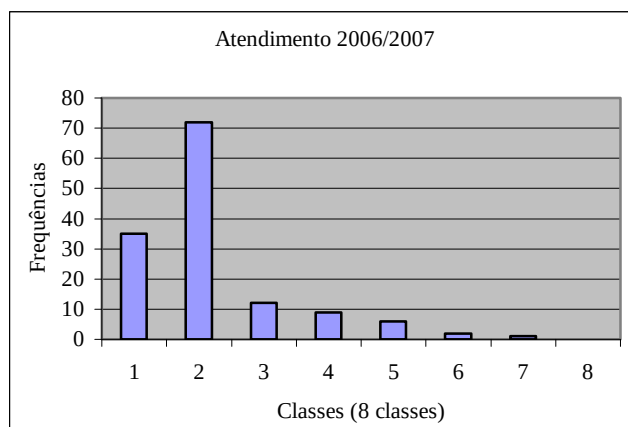


Fig. 5.101 – Atendimento do serviço mecânico no 1º semestre de 2007

Considerando todos os tempos até 4 horas incluindo os de pequena duração e efectuando-se um teste do χ^2 entre os valores empíricos obtidos no final de 2006 e os valores teóricos do $\chi^2_{K-1;1-\alpha}$ conclui-se, de acordo com a figura 5.102, que é aceitável o ajustamento dos tempos de reparação (atendimentos) a uma distribuição estatística exponencial negativa para um nível de significância de 0,90.

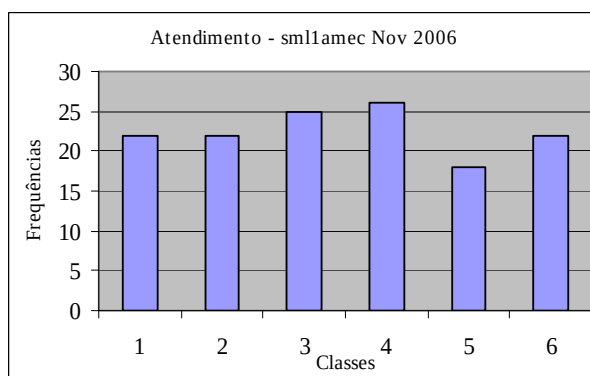


Fig. 5.102 – Frequências dos tempos observados em cada classe

Assim, na tabela 5.62 resumem-se os tempos médios de reparação MTTR encontrados em 2007.

Tab. 5.62 – Tempos médios das reparações (MTTR) por serviços em 2007

Especialidades	Mecânica	Eléctrica	Instrumentos
MTTR	< 3,75 horas	~ 2,5 horas	

Também a evolução entre 2006 e 2007 da eficiência obtida da actividade operacional dos diferentes serviços de manutenção em consequência da integração dos modelos parciais usados e apresentados no capítulo 3 são a seguir apresentados tomando como métrica os *backlog's* dos serviços. A figura 5.103 apresenta a relação da necessidade das horas de trabalho em função dos pedidos de reparação efectuados em 2006 e a respectiva capacidade de execução de 320 Hh (8 executantes) do serviço sml1amec.

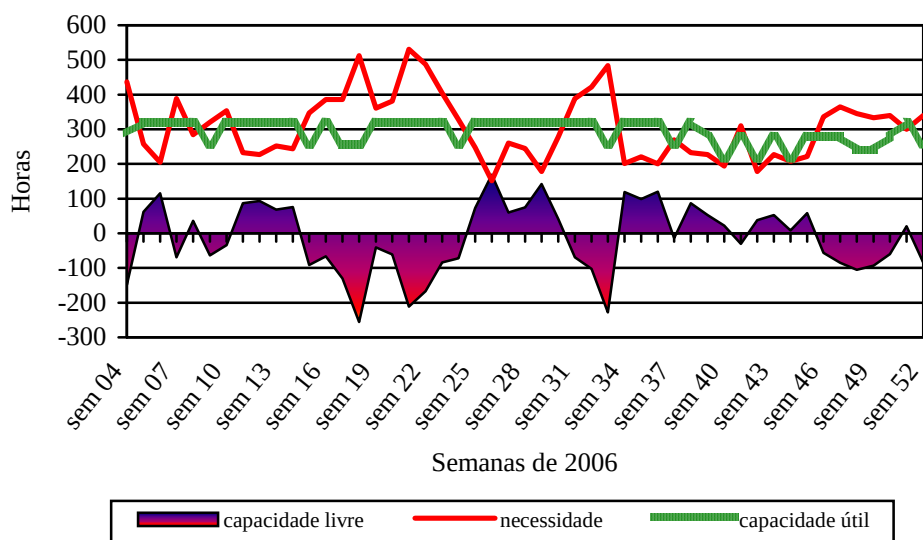


Fig. 5.103 – Evolução do *backlog* do serviço “sml1amec” em 2006

A figura 5.104 apresenta a evolução do *backlog* em 2007 do mesmo serviço, o sml1amec, agora com uma capacidade de 240 Hh (6 executantes).

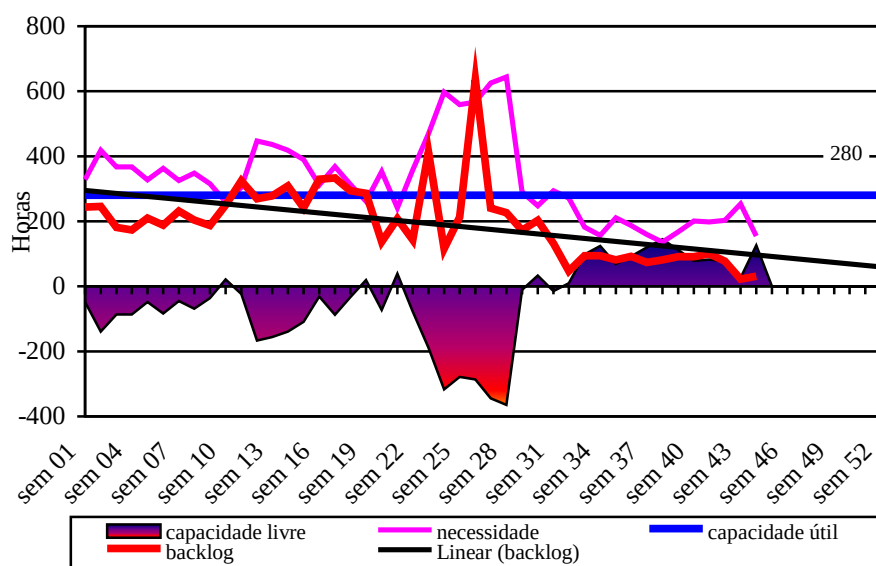


Fig. 5.104 - Evolução do *backlog* do serviço “sml1amec” em 2007

A figura 5.105 apresenta a evolução no ano de 2006 da relação entre a necessidade das horas de trabalho resultantes dos pedidos de reparação efectuados e a capacidade de execução de cerca de 200 Hh (5 executantes) do serviço Sml1bmec.

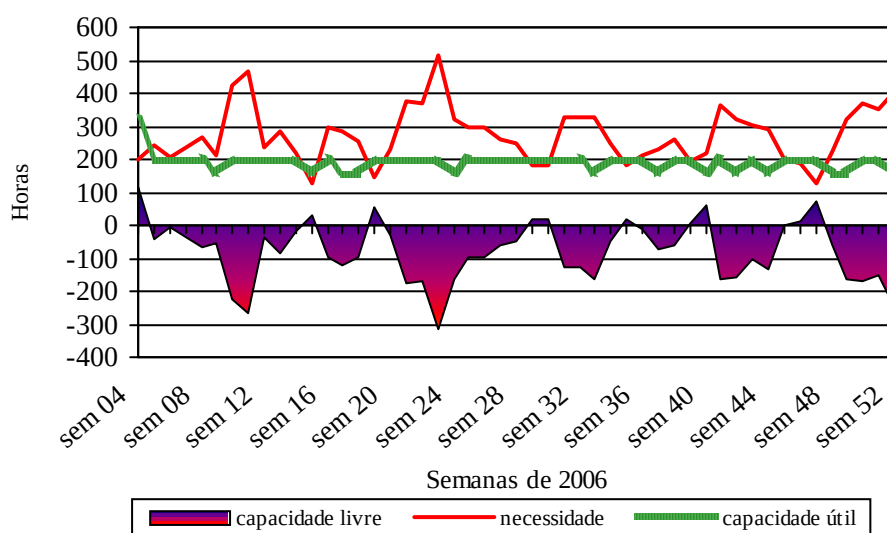


Fig. 5.105 - Evolução do *backlog* do serviço “sml1bmec” em 2006

A figura 5.106 apresenta o *backlog* do serviço sml1bmec agora durante o ano 2007 onde também se verifica, à semelhança do sml1amec, a partir do 2.º semestre uma evolução positiva do indicador da *performance* da actividade dos serviços de manutenção.

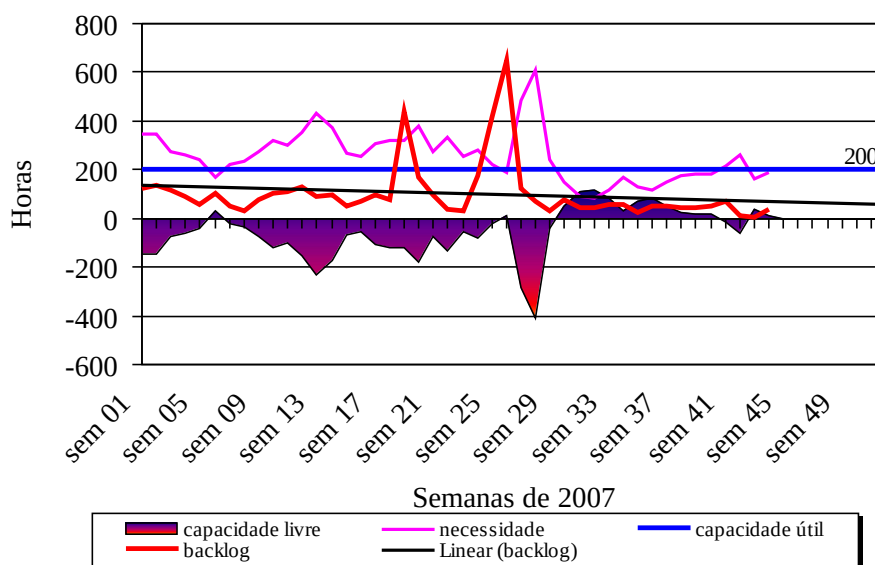


Fig. 5.106 - Evolução do *backlog* do serviço “sml1bmec” em 2007

A partir de 2006 o chamado serviço de controlo e potência o “sml1elin” integrou o serviço eléctrico (sml1ele) e da instrumentação (sml1inst) e obteve uma *performance* que se apresenta na figura 5.107 correspondente a cerca de 440 Hh (11 executantes).

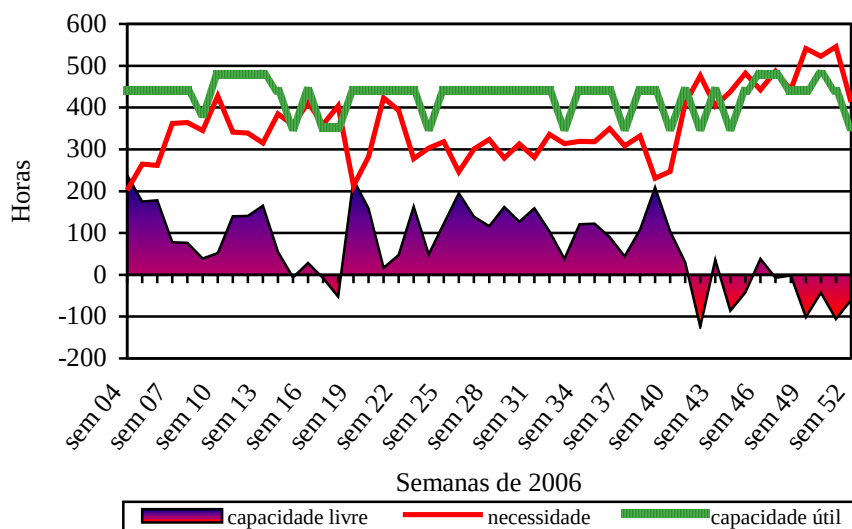


Fig. 5.107 – Evolução do *backlog* do serviço “sml1elin” em 2006

Finalmente, a figura 5.108 apresenta a evolução da eficiência operacional do serviço de electricidade e instrumentação o sml1elin baseada na medição do *backlog* durante o ano de 2007 ainda com uma capacidade de cerca de 440 Hh.

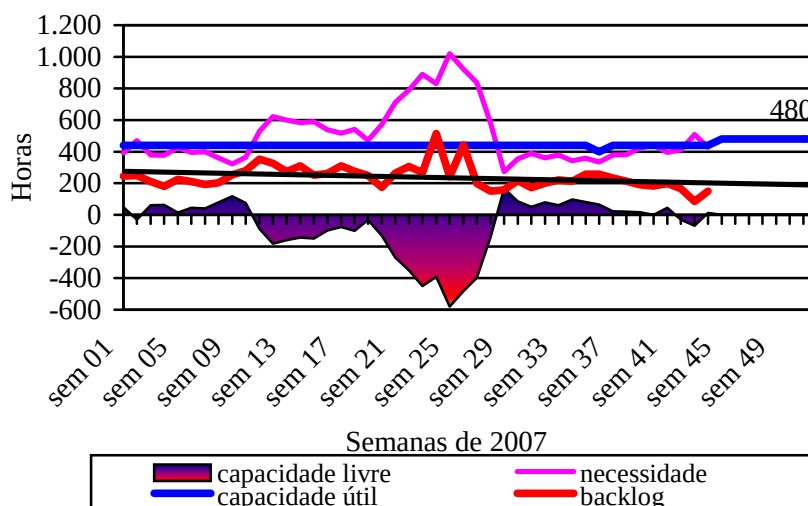


Fig. 5.108 - Evolução do *backlog* do serviço sml1elin em 2007

Também neste serviço existe um excesso de capacidade verificada nas figuras 5.107 e 5.108 cujos resultados são comparáveis com os da tabela 5.44 da página 337.

O excesso das capacidades dos serviços face às necessidades manifesta-se a partir do final de 2006 e no início de 2007 e voltam a ser claramente evidenciados no 2º semestre de 2007 após a conclusão das acções do modelo dos riscos proporcionais. Assim, apresenta-se e reafirma-se na tabela 5.63 a comparação entre dimensionamento real e o proposto para o *front-office* dos serviços de manutenção como resultado da aplicação da teoria das filas de espera. Apresenta-se também na referida tabela as competências necessárias dos recursos em função da natureza dos pedidos de reparação efectuados e verificados na linha de pasta (*fiber line*) da fábrica da Portucel Soporcel em Setúbal.

Tab. 5.63 – Quantidade real de pessoal 1) e o dimensionamento obtido 2)

1) Real	Mec	Óleoh	Ser	So	Lub	Ele	Inst	Eletró	Sist	Comun	Totais
Reparações	5	1	3	1	-	2	4	1	1	1	19
Preventiva	1	1	-	-	2	1	1				6
Total	6	2	3	1	2	3	5	1	1	1	25
2) Proposto	Mecânica		Tubag			Controlo e potência					Totais
Reparações	5		3		-	5			-	1	14
Preventiva	2				2	2					6
Total	7		3		2	7			-	1	20

Pelo que atrás ficou exposto através dos resultados obtidos, nomeadamente os que dizem respeito aos *backlog's* ou à carga de trabalhos em atraso referida no subcapítulo 2.6.2, se deduz que a tendência da sua evolução no tempo se inverteu sustentadamente na linha da pasta (*fiber line*) após a implementação das medidas operacionais de melhoria da fiabilidade opercaional preconizadas neste trabalho. De facto foram experimentados neste trabalho os modelos parciais num contexto real conforme referido em 5.5.4 e não através de simulações “laboratoriais” para a verificação dos resultados. Assim, os resultados obtidos para o dimensionamento apresentados ao(s) responsáveis pela gestão das equipas dedicadas de manutenção foram verificados através da constatação *in-loco* pela redução esperada dos *backlog's* e não, por razões óbvias, através da redução real do número de executantes afectos a cada um dos serviços de manutenção. Finalmente, enfatiza-se a importância das qualificações e das competências de cada um dos recursos dos serviço de manutenção para a pressecução do objectivo da melhoria operacional conforme já se referiu no subcapítulo 1.8.

Apresentados os resultados do modelo de filas de espera aplicado ao dimensionamento das equipas dedicadas do atendimento diário dos pedidos de reparação, passa-se aos resultados do modelo de subcontratação que se aplicou no atendimento dos picos de trabalho durante a paragem das instalações.

Como já atrás ficou apresentado na tabela 5.50 da página 359 do subcapítulo 5.5.4.1 o número de paragens dos equipamentos diminuiu e, por consequência, o número de oportunidades para o atendimento das reparações dos pedidos que aguardavam paragem também diminui. Assim, durante no período de tempo compreendido entre 2006 e 2007 o número médio de trabalhos diários de reparação sujeitos a “manutenção imperfeita” aumentou e, por isso, também aumentaram relativamente ao período de 2004 a 2005 (*outsourcing*) os trabalhos que aguardaram a execução da chamada “manutenção perfeita”. A este propósito, a figura 5.109 apresenta o “status” da carteira de trabalhos da área do branqueamento obtido através do CMMS da manutenção, o sistema SAP/R3, no final de Novembro de 2007.

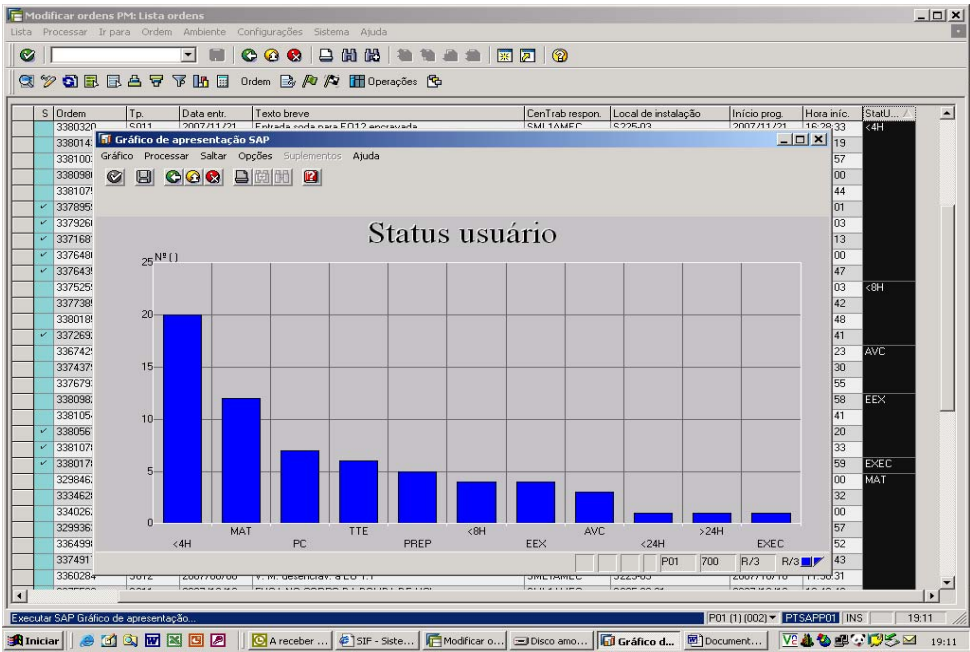


Fig. 5.109 - “Status” das obras de reparação do branqueamento em Nov. 07

Assim, verificaram-se cerca de 25 trabalhos nos diferentes serviços de manutenção que aguardavam a paragem do branqueamento. Este número de trabalhos aumentou relativamente ao período do *outsourcing* entre 2004 e 2005 em cerca de 2 vezes o valor médio encontrado na página 207 do subcapítulo 4.1.5.4.

Também na linha de pasta (*fiber line*) e de acordo os pedidos de reparação a aguardar paragem no final de Novembro de 2007 (+- 6 semanas após uma paragem de pequena duração para a lavagem da caldeira de recuperação) o número dos trabalhos neste “status” aumentou cerca de 2 vezes relativamente ao período de 2004 a 2005 não considerando os cerca de 14 apresentados na figura 5.110 da área da tiragem de pasta por esta estar sujeita a um programa operacional de paragens programadas conjuntamente com a produção para esta atender à necessidade da substituição de feltros.

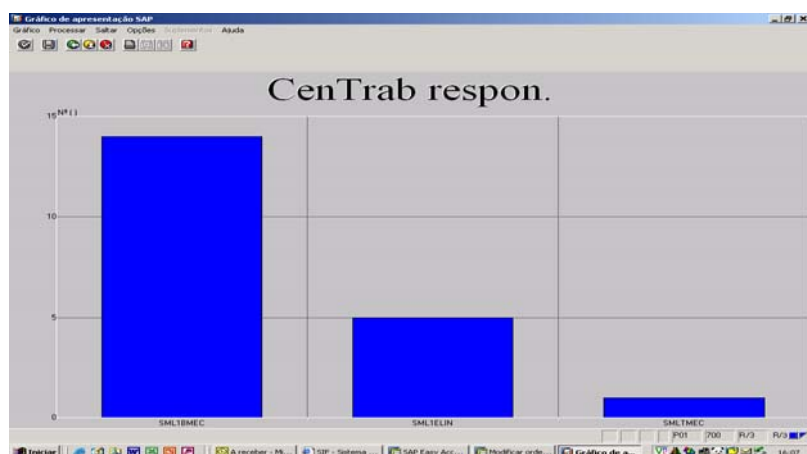


Fig. 5.110 - Reparações a aguardarem paragem da tiragem em 30 Nov. 07

Considerando agora toda a linha de pasta (*fiber line*) e, conseqüentemente, incluindo também a tiragem (secagem e embalagem) da pasta apresenta-se na figura 5.111 o número de trabalhos que aguardaram a paragem dos equipamentos no final de Novembro de 2007. Estes perfizeram aproximadamente um total de 80 trabalhos ao que corresponde a cerca de 2,5 vezes o valor médio do determinado no subcapítulo 5.4.2.

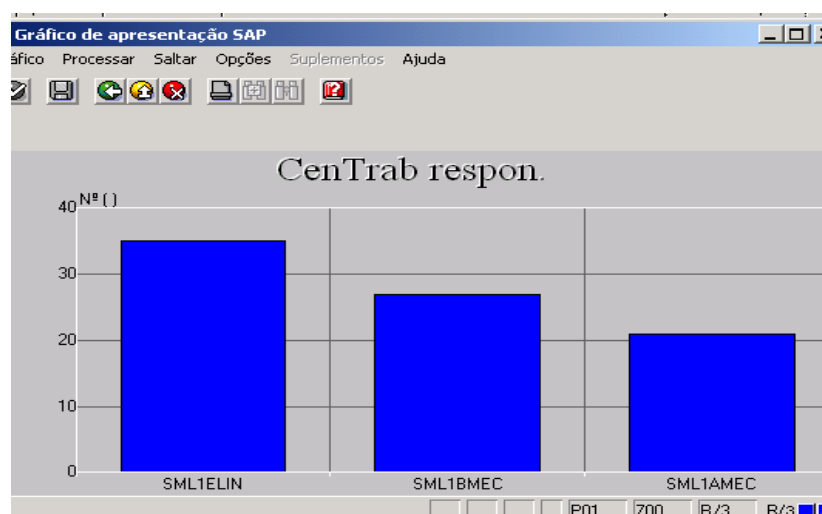


Fig. 5.111 – Quantidade de trabalhos a aguardar paragem da linha de pasta

Assim, a tabela 5.64 apresenta o número de trabalhos que aguardaram paragem e traduz o seu aumento quando comparado com os dados recolhidos entre 2004 e 2005 onde, no período, ocorreram mais paragens das instalações provocadas por causas externas à linha de produção de pasta (*fiber line*) nomeadamente devidas à caldeira de recuperação. Apesar de se ter verificado que o número de executantes contratados em 2007 para a execução de trabalhos da linha de pasta nas situações de paragens de pequena duração estar próximo do previsto pelo modelo de subcontratação usado e apresentado no subcapítulo 3.4 ou seja entre 50 a 60 executantes também se verificou, especialmente na paragem de Outubro de 2007, que nem todos os trabalhos foram executados.

Tab. 5.64 – Número de trabalhos que aguardam pela paragem da linha de pasta

Área	Sml1amec	Sm1bmec	Sml1elin	Smltmec	Sub-total
Linha de pasta	21	27	34	1	83
Tiragem de pasta	-	14	5	1	20
Total sem a tiragem	21	13	29	0	63

Em face aos últimos resultados obtidos estamos perante um novo “paradigma” ou seja o aumento do número de pedidos de reparação a aguardar a paragem dos equipamentos entre 2 a 2,5 vezes ao verificado durante o período do *outsourcing* da manutenção devido ao número de paragens ter diminuído. De facto, tratando-se de uma actividade industrial de fluxo contínuo (*flow-shop*) os pedidos pontuais de reparação foram atendidos pela ordem *first-in first-out* mas muitos deles através das possíveis acções de manutenção curativas e, por consequência, por vezes de uma forma imperfeita para não comprometer a disponibilidade operacional das instalações.

Esta nova situação exige por parte do *back-office* e do *front-office* da manutenção um maior domínio sobre o controlo do risco das falhas detectadas nos equipamentos objectos dos pedidos de reparação ou de inspecção e, por consequência, o paradigma atrás referido interfere directamente com o maior ou menor domínio por parte da função manutenção e produção sobre o período P-F característico entre o início das falhas e as avarias caracterizado no subcapítulo 2.1.3. Esta situação pode conduzir a uma nova abordagem da gestão dos equipamentos estáticos, rotativos e lineares de forma diferenciada já referida no subcapítulo 2.2 e, por isso, possivelmente conducente aos chamados *clusters* de famílias de equipamentos referidos no subcapítulo 2.6.1.

5.5.4.3 – Os custos operacionais da manutenção obtidos em 2007

Os custos operacionais da manutenção que a seguir se apresentam dizem particular respeito à área do branqueamento da pasta para papel e à linha de pasta (*fiber line*). Os custos não se referem em particular a cada uma das situações referidas no subcapítulo 5.4 mas sim ao conjunto da actividade operacional de cada um dos serviços de manutenção da linha de pasta objecto do trabalho. Assim, conforme se apresenta nas figuras 5.112 e 5.113, obteve-se uma redução de 25% dos custos dos materiais de *stock* aplicados nas ordens de manutenção (s011 e s012) cujos dados foram recolhidos do SAP/R3 (CMMS) em períodos homólogos de Janeiro a Novembro de 2005 e de 2007.

Material	Custo
320 Produção -Pasta	459.839,13
S133 TIRAGEM II	11.973,88
S159 DESLINHIFICAÇÃO	28.762,98
S228 DIGESTOR CONTÍNUO I	33.184,75
S225 BRANQUEAMENTO	97.158,11
SMLTANEC SML-21-Mecânica Pasta Crua	63.194,38
SMLTELE SML-21-Electricidade	466,47
SMLTINSY Eliminado - SML-21-Instrumentos	14.829,11
SMLTILAS Eliminado - SML-21-Plásticos	19.474,15
S233 TIRAGEM III	149.733,58
S258 PRODUTOS QUÍMICOS	48.321,12
S263 INTERVENÇÃO LOCAL	768,12
S328 DIGESTOR CONTÍNUO II	39.980,99
S321 CRIVAGEM	16.831,38
S338 DEPURAÇÃO	33.827,13
S334 ABASTECIMENTO DE PASTA LÍQUIDA À F.PAPEL	8.097,29

Fig. 5.112 - Materiais de stock aplicados em 2005 em obras do tipo s01* - sml1*

Material	Custo
320 Produção -Pasta	337.935,93
S133 TIRAGEM II	166,45
S159 DESLINHIFICAÇÃO	16.719,01
S228 DIGESTOR CONTÍNUO I	26.198,41
S225 BRANQUEAMENTO	68.729,88
SMLTANEC SML-21-Mecânica Pasta Crua	39.819,24
SMLTELE SML-21-Electricidade	0,00
SMLTINSY Eliminado - SML-21-Instrumentos	0,00
SMLTILIN SML-21-Elect/Instrumentos	28.918,64
S233 TIRAGEM III	129.694,59
S258 PRODUTOS QUÍMICOS	51.168,04
S328 DIGESTOR CONTÍNUO II	26.576,78
S321 CRIVAGEM	28.173,68
S338 DEPURAÇÃO	4.681,27
S334 ABASTECIMENTO DE PASTA LÍQUIDA À F.PAPEL	1.847,68

Fig. 5.113 - Materiais de stock aplicados em 2007 em obras do tipo s01* - sml1*

Relativamente aos custos da mão-de-obra dedicada na linha de produção de pasta em regime de *insourcing* a sua redução é proporcional ao dimensionamento dos efectivos operacionais obtido e apresentado na figura 5.76 do subcapítulo 5.5.3.2. Para quantificar a mão-de-obra a contratar durante os picos de trabalho, nomeadamente nas paragens das instalações, passou-se a ensaiar o seu dimensionamento de acordo com o modelo proposto neste trabalho prevendo-se, no entanto, face aos últimos resultados atrás apresentados que o número de equipas aumente em consequência da maior disponibilidade conseguida dos equipamentos e do menor número de paragens das instalações. Os pedidos de reparação podem conduzir à decisão da substituição dos equipamentos. Os substituídos em boa parte rotáveis são, posteriormente, recuperados em oficinas especializadas e, por isso, se apresenta nas figuras 5.114 e 5.115 a evolução da redução dos custos de reparação dos equipamentos rotáveis substituídos na área do branqueamento em 2005 (último ano do *outsourcing*) e também os de 2007.

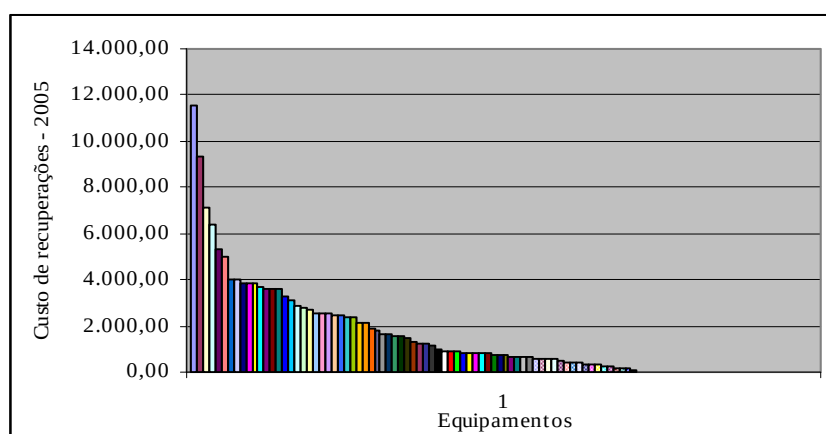


Fig. 5.114 - Distribuição dos custos das recuperação oficiais (*outsourcing*) - 2005

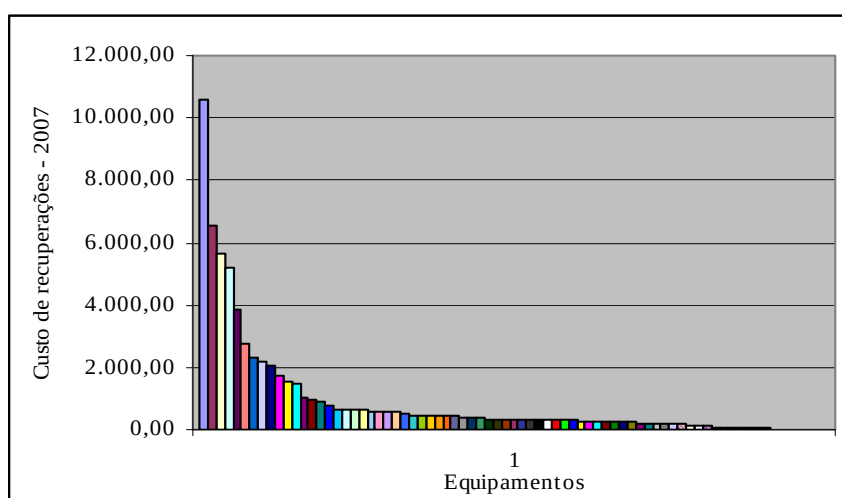


Fig. 5.115 - Distribuição dos custos das recuperação oficiais (*bestsourcing*) - 2007

No último ano do *outsourcing* da manutenção em 2005 os três grupos de equipamentos que prefizeram um total de 40 com custos de recondicionamento oficial mais significativos isto é com valores superiores a 1000 euros e um valor máximo de 11553 euros tinham a seguinte ordenação de custeio:

- 1.º - Cilindros óleo-hidráulicos;
- 2.º - Equipamento rotativo (bombas) e linear (hastes) em titâneo;
- 3.º - Válvulas automáticas

Em 2007 não foi evidenciado nenhum equipamento ou equipamentos substituídos com custo de recondicionamento oficial significativos havendo apenas 14 casos custeados com valores superiores a 1000 euros e com um valor máximo que atingiu os 10619 euros. Finalmente, apresenta-se na figura 5.116 a eficiência de capacidade (CE) obtida na área do branqueamento até Outubro de 2007. Esta curva, chamada de duração, reflecte, através da sua maior ou menor horizontalidade, a eficiência da exploração dos equipamentos na situação da disponibilidade para produzirem. Por outro lado, a parte descendente da mesma curva, dá-nos a indicação do tempo (dias) da indisponibilidade operacional. Assim, a eficiência de exploração dos equipamentos do branqueamento tomou entre Janeiro e Outubro de 2007 o valor de 89,1% (+ 2%) podendo este valor ser comparado, com algumas limitações, com o da figura 4.59 da página 231 do subcapítulo 4.3 obtido entre 1999 e 2004. A eficiência de exploração operacional é um indicador de *performance* que também reflecte, indirectamente, os custos indirectos da não produção.

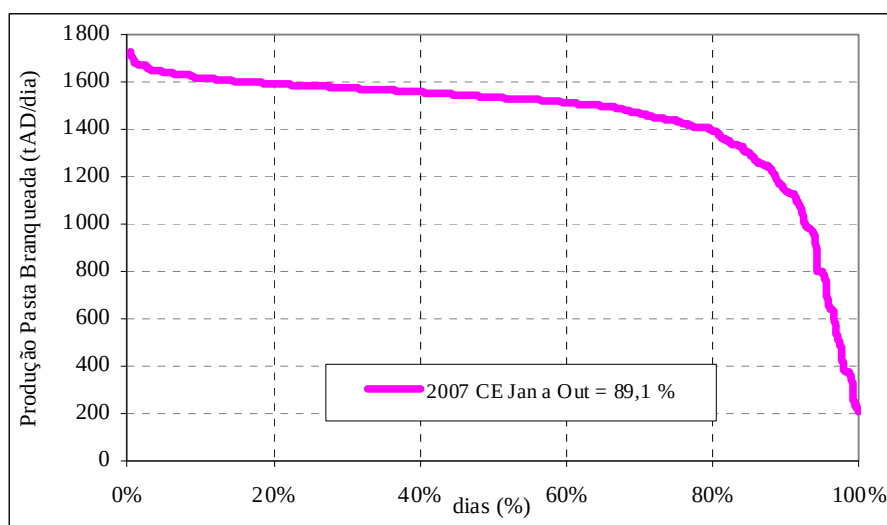


Fig. 5.116 – Curva de duração (exploração) dos equipamentos

5.6 – Validação, breve análise aos resultados, dificuldades e conclusões

Neste subcapítulo validam-se os resultados relativos à fiabilidade, ao dimensionamento das equipas e aos custos operacionais da manutenção das diferentes famílias de equipamentos estáticos rotativos e lineares suportados através da comparação dos valores obtidos antes (*outsourcing*) e depois da experimentação das novas práticas operacionais conjuntas da manutenção e da condução dos equipamentos (*bestsourcing*). Faz-se também uma breve análise dos resultados obtidos após a implementação das medidas resultantes da integração dos modelos apresentadas no subcapítulo 5.5.3.2. Finalmente são referidas algumas das dificuldades e ainda tecidas algumas conclusões.

5.6.1 – Validação dos resultados obtidos

A validação dos resultados é efectuada através da comparação dos valores obtidos antes e depois da experimentação das novas práticas operacionais conjuntas da manutenção e da condução dos equipamentos. Assim, os valores esperados têm por base os resultados dos modelos parciais usados ou sejam o dos riscos proporcionais, o das filas de espera e das oportunidades de subcontratação apresentados no capítulo 3. Os valores observados foram os obtidos após a implementação prática das medidas preconizadas ao longo do subcapítulo 5.5.3.2. Os valores esperados são os que resultaram da aplicação da integração dos modelos parciais de gestão. Não foi usado nenhum teste específico como por exemplo o qui-quadrado porque o número de avarias observadas no período foi muito reduzido e por isso apenas se quantifica a progressão da linearidade dos valores observados em relação aos esperados. Passa-se seguidamente em i), ii) e iii) à apresentação dos diferentes valores esperados e dos observados resultantes da aplicação dos três modelos parciais usados neste trabalho.

i) Os valores obtidos antes (*outsourcing*) e depois (*bestsourcing*) da aplicação dos resultados do modelo dos riscos proporcionais são os que a seguir se resumem.

Nas tabelas 5.65 e 5.66 apresentam-se, respectivamente, o número de avarias observadas em cada uma das famílias dos equipamentos em estudo entre o 2.º semestre de 2004 e o 1.º semestre de 2005, reportadas no subcapítulo 5.2.7.1, e entre Novembro de 2006 e Fevereiro de 2007 correspondente ao período da implementação das medidas

de maior valor acrescentado apresentadas no subcapítulo 5.5.3.2. O primeiro período diz respeito a cerca de 12 meses de funcionamento e o segundo a cerca de 4 meses.

Tab. 5.65 – Número de avarias observadas entre 2004/2005 em *outsourcing*

Estáticos			Rotativos			Lineares	
Tubag.	Celas	Sensores	Bombas	Motores	Transport	Válvulas	Cilindros
22	3	52	4	3	26	39	41

A tabela 5.66 apresenta as avarias observadas em 4 meses entre 2006 e 2007.

Tab. 5.66 – N.º de avarias observadas entre 2006/2007 durante 4 meses em *bestsourcing*

Estáticos			Rotativos			Lineares	
Tubag.	Celas	Sensores	Bombas	Motores	Transport	Válvulas	Cilindros
3	0	7	0	0	2	5	3

Segundo O'Connor (1992), o tempo ao fim do qual a fiabilidade (sobrevivência) toma um valor abaixo de 0,4 corresponde aproximadamente ao tempo médio entre avarias (MTBF). Por uma questão de maior segurança nos resultados e também de simplificação tem-se fixado neste trabalho para o valor do MTBF aquele que corresponde a um valor de fiabilidade próximo de 0,5. Assim, apresenta-se na tabela 5.67 o número de avarias esperadas e as observadas durante o período de Novembro de 2006 e Outubro de 2007, admitindo-se uma proporcionalidade linear durante os primeiros 4 meses observados e atrás apresentados.

Tab. 5.67 – N.º de avarias esperadas vs observadas em 2006/2007

Estáticos			Rotativos			Lineares	
Tubag.	Celas	Sensores	Bombas	Motores	Transport	Válvulas	Cilindros
9	1	21	1	1	6	15	9
11	1	~	0	0	3	11	10

Evidencia-se também, na tabela 5.68, a redução observada para cerca de metade do número de paragens e dos consequentes arranques dos equipamentos da área do

branqueamento, em boa parte devido ao acréscimo de 8 vezes do tempo médio entre avarias (MTBF) antes verificado no transportador de pasta designado por C800.

Tab. 5.68 – Evolução do número de paragens do branqueamento

Tipo de paragem	2004	2005	2006	2007 (Junho)	2007 (esperado)
Externa	63	74	76	30	-
Interna	130	98	80	14	-
Totais	193	172	156	44	88

Assim, verifica-se que as medidas e as acções tomadas corresponderam aos valores esperados estando por isso próximos dos realmente observados e ao mesmo tempo também se verifica que a probabilidade do risco de avaria das diferentes famílias de equipamentos estudados foi afectada positivamente relativamente a 2005 por factores multiplicativos que variaram entre 1,5 e 3 excepto no caso dos sensores de linha. Também o número de paragens e de arranques considerado como uma covariável a observar veio influenciar os resultados e validar as expectativas inicialmente supostas.

ii) Os resultados obtidos antes (*outsourcing*) e depois (*bestsourcing*) da aplicação do modelo parcial das filas de espera são os que a seguir se resumem.

Pelos resultados atrás obtidos e recolhidos através do sistema SAP/R3 (módulo PM), verificou-se que na primeira metade de 2007 o número de notificações aumentou devido às acções efectuadas em consequência das medidas referidas no subcapítulo 5.5.3.2 e devido à paragem geral as instalações de Julho. Posteriormente, o número de notificações diminuiu. Concluiu-se também que os intervalos de tempo decorridos entre as notificações ou pedidos de reparação continuam a seguir, aproximadamente, uma distribuição exponencial negativa onde o número médio de notificações efectuadas aos serviços de manutenção em 2007 em regime do *mix insourcing-outsourcing (bestsourcing)* é inferior ao número verificado em 2005 em regime de *outsourcing*. Considerou-se que os tempos de atendimento não variaram significativamente durante o período de tempo. Assim, a validação dos resultados é efectuada através da redução dos valores dos *backlogs* esperados e observados. Como se referiu, na página 390 do subcapítulo 5.5.4.2, aqueles valores decresceram sustentadamente como era esperado a partir do 2.º semestre de 2007.

De facto tendo-se mantido o mesmo número de elementos do *front-office* de cada serviço de manutenção desde 2006 e também o atendimento do tipo *first-in first-out* observou-se até ao final de 2007 a continuação da tendência do excesso de capacidade em qualquer dos serviços de manutenção. Nos serviços sml1amec, sml1bmec e sml1elin os excessos de capacidade situaram-se sustentadamente em cada um deles entre as 50 horas e as 100 horas. O valor médio do intervalo dos valores da carga de trabalho atrás referidos correspondeu aproximadamente, no conjunto dos três serviços, a uma sobre capacidade observada em 2007 de 5 executantes. O valor esperado era de 7 executantes relativamente aos dados obtidos do ano de 2005 no regime de *outsourcing*.

iii) Os resultados obtidos antes (*outsourcing*) e depois (*bestsourcing*) da aplicação do modelo parcial de subcontratação são os que a seguir se resumem.

Apesar de se esperar e experimentar de acordo com os resultados do modelo apresentado no subcapítulo 3.4 que o número de executantes a contratar durante 2007 para a execução dos trabalhos da linha de pasta nas paragens de pequena duração se situarem entre 50 e os 60 executantes observou-se, particularmente na paragem de Outubro de 2007, que nem todos os trabalhos previstos foram executados. Face ao novo “paradigma” referido na parte final do subcapítulo 5.5.4.2, isto é devido à diminuição observada do número de paragens das instalações, o número de equipamentos que aguardaram reparação aumentou em 2007. Este facto observou-se como atrás se referiu na paragem verificada em Outubro de 2007 e atingiu, conforme se apresenta na tabela 5.69, um total de 63 trabalhos correspondendo a 2 vezes o inicialmente esperado relativamente ao observado.

Tab. 5.69 – Número de trabalhos na paragem da linha de pasta de Outubro de 2007

Área	Sml1amec	Sml1bmec	Sml1elin	Smltmec	Sub-totais
Linha de pasta	21	27	34	1	83
Tiragem de pasta	-	14	5	1	20
Total sem a Tiragem	21	13	29	0	63

As razões que explicam o facto observado na paragem de Outubro de 2007 foram abordadas resumidamente no subcapítulo anterior e também no final do subcapítulo 5.5.4.2.

Assim, considera-se o modelo usado como validado porque se observou o esperado nas três paragens antes verificadas de curta duração e apenas nesta última, a de Outubro de 2007, se verificou que o número de executantes foi insuficiente pela razão atrás exposta. Por isso, o modelo que é suportado por uma distribuição estatística rectangular deveria ter sido afectado (na última paragem) o seu limite máximo pelo dobro dos trabalhos antes previstos correspondentes a mais 14 trabalhos mecânicos e mais 19 de electricidade e instrumentação. Outro aspecto a considerar e já referido no final do subcapítulo 5.5.3.2 diz respeito ao intervalo de tempo decorrido entre cada uma das paragens. Também na situação atrás referida se observou a existência de uma proporcionalidade directa existente entre a variação do número de trabalhos em “carteira” a aguardar paragem das instalações e o maior ou menor período de tempo decorrido entre estas paragens de pequena duração.

Finalmente, refere-se que os custos variáveis são também directamente proporcionais ao número de executantes a subcontratar pontualmente. Por isso esta prática pode ser usada até certo ponto pela gestão da manutenção também para a redução dos custos fixos da manutenção industrial e da Organização para a mesma qualidade e quantidade do serviço esperado executar comparativamente com o dos recursos internos fixos (*insourcing*). Por outro lado também se observou no decorrer do presente trabalho que as empresas prestadoras de serviços de manutenção (contratadas), mesmo as de maior dimensão, possuem um número de recursos internos cada vez mais reduzidos (entre 5 e 20) e por isso também elas recorrem à subcontratação temporária quando existem picos de trabalho. Assim, é também válida a necessidade observada da contratação durante as paragens de curta duração da linha de pasta de pelo menos 4 a 5 empresas prestadoras de serviços de manutenção industrial.

5.6.2 – Breve análise aos resultados obtidos

Em primeiro lugar refere-se que a recolha dos dados que suportaram a aplicação dos modelos usados, a implementação das medidas (experimentação) e os resultados obtidos foram efectuadas num ambiente industrial real de laboração contínua. Daí, como se pode depreender, terem ocorrido bastantes dificuldades especialmente na aplicação das medidas e as acções operacionais durante um curto período de tempo que decorreu entre Novembro de 2006 e Julho de 2007.

Refere-se também que no contexto operacional piloto na área do branqueamento da pasta e nas restantes áreas fabris que compõem a linha de pasta (*fiber line*) não foram introduzidas novas metodologias ou acções operacionais a não ser as resultantes do presente trabalho. Assim, a figura 5.117 apresenta o resumo comparativo do tempo entre avarias verificado durante períodos homólogos em cada uma das famílias de equipamentos antes e depois da implementação das medidas resultantes deste trabalho.

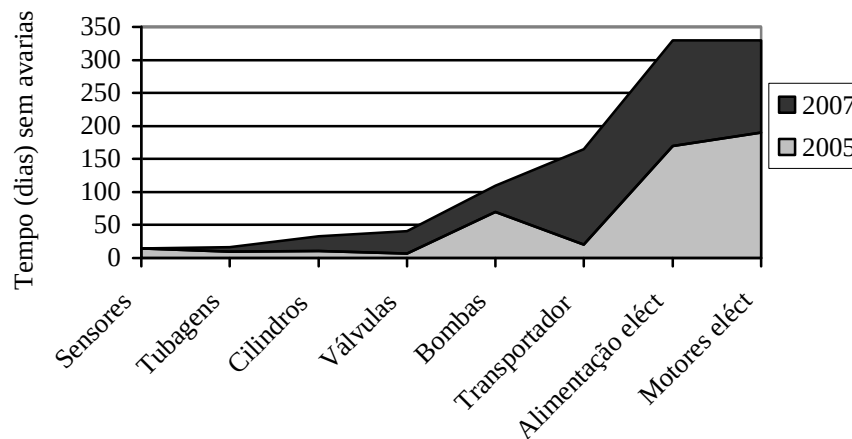


Fig. 5.117 – Evolução do tempo entre avarias entre 2005 e 2007

Os *clusters* (famílias) dos equipamentos rotativos e estáticos relacionados com o serviço de electricidade, nomeadamente o dos motores e a alimentação eléctrica foram aqueles, tal como antes, onde se obteve o menor risco de avaria e, portanto, o maior tempo de funcionamento entre avarias. A seguir surge o transportador da pasta designado por C800 onde se verificou agora em *bestsourcing* um considerável decréscimo do risco de avarias, tal como nas bombas hidráulicas associadas também ao *cluster* dos equipamentos rotativos à responsabilidade do serviço mecânico. Seguem imediatamente as válvulas de regulação e os cilindros óleo-hidráulicos com tempos médios entre avarias agora compreendidos entre 30 e 40 dias. Os primeiros pertencem ao *cluster* dos equipamentos estáticos de regulação do processo à responsabilidade da instrumentação e os segundos também estáticos mas com deslocamento linear são da responsabilidade do serviço mecânico. Finalmente, do *cluster* dos equipamentos estáticos surgem com maior risco de avaria relativamente aos atrás referidos as tubagens à responsabilidade do serviço mecânico, tendo-se no entanto verificado um aumento do tempo médio entre avarias de aproximadamente 6 dias. Os sensores em linha à responsabilidade da instrumentação mantiveram o tempo médio entre avarias de 15 dias.

Assim, a figura 5.118 apresenta a relação entre o número médio das avarias acumuladas verificadas entre 2005 e 2007 e as respectivas qualificações e competências necessárias ao *front-office* a cada um dos serviços de manutenção para as reparar.

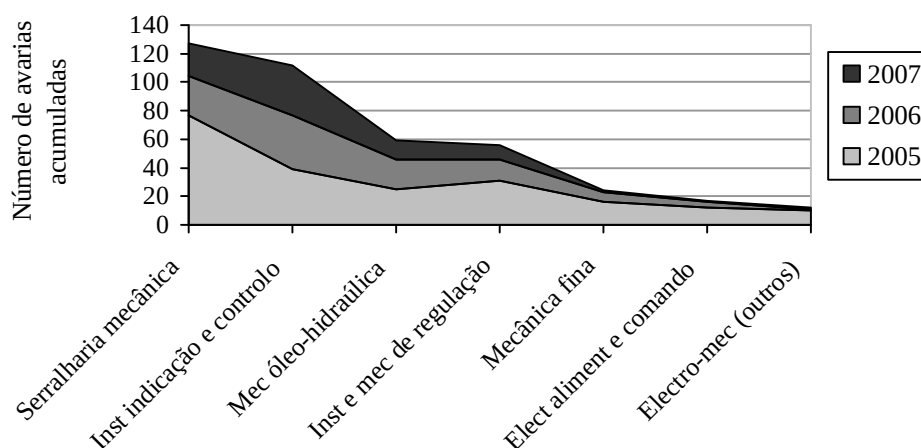


Fig. 5.118 – Número de avarias acumuladas e competências para as reparar

Face aos resultados atrás sintetizados verifica-se existir uma certa proporcionalidade entre as avarias que ocorrem, ou seja, o nível de fiabilidade obtido dos equipamentos, as competências específicas e a quantidade de recursos necessários para as reparações. Assim se justifica que para além da dimensão e das competências necessárias a cada equipa de manutenção, antes em *outsourcing* e durante a aplicação dos modelos usados neste trabalho em *bestsourcing*, o serviço mecânico necessite da maior quantidade de recursos comparativamente com os restantes serviços, e ainda que o serviço de instrumentação e controlo necessite de mais recursos que o serviço de electricidade. Os resultados da fiabilidade e, por consequência directa, o dimensionamento das equipas dos serviços de manutenção foram afectados também pela idade das instalações. Este aspecto pode em parte ser evidenciado pela comparação entre o número de avarias verificadas nos equipamentos estáticos com os rotativos (estes normalmente rotáveis).

Também o número de paragens e arranques afecta o risco de avaria e a fiabilidade dos equipamentos estáticos ou rotativos e, por isso, a conjugação das análises da condição do seu funcionamento *on-line* e *off-line* com cariz determinístico (função do processo de degradação) são preferíveis, quando viáveis, em detrimento das inspecções periódicas sistemáticas com paragem dos equipamentos por estas se basearem, normalmente e apenas, em processos estocásticos (função do processo casuístico). Neste caso o modelo

de fiabilidade semi-paramétrico usado permitiu verificar conjuntamente a(s) causa(s) significativas que estão na origem do(s) modo(s) de falha e por consequência proporcionaram a ocorrência da(s) avaria(s). Por isso, ele pode ser considerado como um modelo de melhoria contínua a usado quando existe uma multiplicidade de variáveis a estudar em simultâneo e ainda desde que hajam dados suficientes e disponíveis.

Por outro lado, os resultados da fiabilidade obtidos conjuntamente com os da *performance* das equipas permitiram (re)dimensionar através da estatística exponencial os recursos do *front-office* dos serviços de manutenção de 25 para 20 executantes para o atendimento diário das falhas e avarias que sempre vão ocorrendo. Assim, o estudo das filas de espera também pode ser considerado como um modelo de melhoria contínua sempre que se verifiquem alterações da fiabilidade ou da *performance* das equipas (serviços). Finalmente foi ainda usada uma estatística rectangular para tratar os equipamentos que funcionam em falha e(ou) foram sujeitos a manutenção imperfeita e, por isso, aguardavam uma paragem para a requerida reparação perfeita. Neste caso recorreu-se ao reforço entre 25 e 30 equipas em regime de *outsourcing* de oportunidade de acordo os resultados da página 340, para atender em simultâneo a um conjunto de equipamentos naquelas condições; para reduzir a indisponibilidade dos equipamentos ou das instalações e, por consequência, os custos indirectos e directos associados. Face ao incremento da disponibilidade (fiabilidade e manutibilidade) obtida dos equipamentos verificou-se um novo “paradigma” ou seja o aumento do número de equipamentos a aguardar uma paragem devido a estas ocorrerem agora em menor número. De facto, tratando-se de uma actividade industrial de fluxo contínuo os pedidos pontuais de reparação foram atendidos pela ordem *first-in first-out* mas inevitavelmente ocorrem acções de manutenção curativas e, por consequência, efectuada de forma imperfeita para não comprometer a disponibilidade operacional das instalações. O custo específico da tonelada de pasta para papel produzida em 2007 da actividade da manutenção da fábrica de Setúbal do grupo Portucel Soporcel depois do *outsourcing* reduziu para os 30 euros e, portanto, este valor também está dentro do limite inferior dos dados obtidos através do *benchmark* efectuado por Kahn *et al* (2002) referido a partir da página 65 do subcapítulo 1.7.1. O custo dos materiais utilizados representaram relativamente à mão-de-obra menos de 35% do valor total e, de acordo com a figura 1.24 do mesmo subcapítulo, verificou-se na área piloto estudada que a corrosão e o desgaste foram os principais modos de falha responsáveis pelos custos de manutenção.

Estes resultados vêm também de encontro a uma das covariáveis muito significativas apresentadas no quadro 5.12 do subcapítulo 5.5.3.1 ou seja a qualidade dos materiais cujo coeficiente tomou o valor de 8,48 o que também se pode justificar face ao custo relativamente baixo verificado. Também as acções de manutenção, conjuntamente com as operações de condução dos equipamentos, cujos coeficientes das covariáveis tomaram valores próximos de 4 podem reflectir as dificuldades em se efectuar “bem e à primeira” e(ou) podem indiciar dificuldades nas competências específicas dos recursos. Talvez também por isso se assistiu por iniciativa da Organização a um conjunto de acções específicas de formação profissional nomeadamente soldadura, empanques, rolamentos, calibrações e ensaios, selecção de materiais, sistemas de controlo distribuído, conversores de frequência, máquinas eléctricas, relés de controlo e protecção, *softwares* de comunicação Homem-máquina e, ainda, entre outras, as acções que visaram as multivalências dos recursos humanos como é o caso dos técnicos de controlo e potência resultantes da integração das competências em electricidade e instrumentação. Finalmente, face ao novo “paradigma” atrás referido torna-se essencial a programação e a preparação contínua dos trabalhos a executar durante as paragens de curta e de longa duração referidas, respectivamente, nos subcapítulos 5.4.2 e 5.4.4.

5.6.3 – Dificuldades encontradas e conclusões

As principais dificuldades encontradas prenderam-se com a recolha e a obtenção dos dados históricos para a aplicação dos modelos parciais usados neste trabalho, a implementação prática das medidas preconizadas pelos resultados dos modelos e, ainda, a medição dos resultados esperados relativamente aos observados. De facto, tendo o trabalho decorrido num ambiente industrial real foi necessário sensibilizar e demonstrar aos responsáveis da gestão de topo e depois aos operacionais os objectivos deste trabalho e também as potencialidades da aplicação dos modelos usados para as esperadas melhorias do desempenho dos serviços de manutenção. Refere-se, no entanto, a receptividade e a aceitação que desde logo foi manifestada pela Direcção Fabril e a Direcção da Manutenção ao trabalho proposto ainda em 2004. Conforme se apresentou no quadro 5.7 da página 276 do subcapítulo 5.2.6 a recolha dos dados relativos às variáveis específicas a usar no modelo dos riscos proporcionais teve também a contribuição, para além do Doutorando, dos operadores do processo, do inspector aos equipamentos, de um electricista, de um mecânico e também de um instrumentista.

Para a obtenção dos dados necessários aos tempos das operações das equipas de manutenção usados no modelo das filas de espera foi também relevante para além do uso do CMMS (SAP/R3 módulo PM) a colaboração dos supervisores de cada um dos serviços de manutenção, a colaboração muito activa do Director da Manutenção do Complexo de Setúbal, bem como do Responsável Operacional da actividade da manutenção na fábrica de pasta. Depois de apresentados à Direcção da Manutenção em meados de 2006 os primeiros resultados esperados referiu-se também as eventuais dificuldades e as oportunidades temporais para a implementação no “terreno” das medidas preconizadas e resultantes do(s) modelo(s) usado(s) apresentadas no subcapítulo 5.5.3.2. Enquanto que as medidas e as acções encontradas para a melhoria da fiabilidade dos equipamentos confrontaram-se com algumas dificuldades também ao nível do cabimento orçamental não previsto, como por exemplo a substituição de algumas tubagens e válvulas, já nas medidas da melhoria da *performance* das equipas de manutenção tal não aconteceu. No entanto, por razões óbvias, devido à redução do efectivo preconizada pelos resultados do modelo das filas de espera esta não veio a ocorrer e, por isso, os resultados foram validados através da comparação do indicador atrás designado por “*backlog*” de cada um dos serviços de manutenção. No que diz respeito à validação dos resultados do modelo de fiabilidade recorreu-se também aos dados do CMMS (SAP/R3) e aos indicadores fabris já antes usados pela Organização para outros fins.

Ao longo do capítulo 5 descreveu-se a parte experimental conjunta dos modelos usados e a sua implementação prática sendo por isso um dos mais importantes do trabalho. Os modelos usados em conjunto beneficiaram a gestão da manutenção e os seus resultados porque, para além do mais, depois de aplicados na prática permitiram trazer mais dados ao conhecimento da realidade do processo de manutenção. Não obstante as dificuldades já referidas, os resultados obtidos foram muito positivos como atrás ficou demonstrado o que abre caminho a uma nova visão e abordagem da gestão da actividade operacional industrial. Esta abordagem fez uso apenas dos dados residentes nos sistemas de informação da Organização, das capacidades e das competências dos seus recursos Humanos residentes no *back-office* e *front-office* da manutenção. Também acedendo a ferramentas (*softwares*) hoje totalmente disponíveis é possível, de uma forma mais científica e rápida, menos empírica, e de mais baixo custo, obter melhorias substanciais e sustentáveis da fiabilidade operacional na indústria de processo de laboração contínua.

6 – Propostas de reorganização da manutenção

Tomando as conclusões do subcapítulo 4.6. A subsequente abordagem operacional desenvolvida. Os resultados obtidos na parte experimental do trabalho, e a breve análise e conclusões retiradas dos subcapítulos 5.6.2 e 5.6.3, referem-se, a seguir, os principais aspectos a considerar numa possível reorganização do processo operacional em estudo.

6.1 – A interpenetração operacional da produção com a manutenção

O *front-office* da condução dos equipamentos conjuntamente com o da manutenção contribui continuamente com *inputs* e *outputs* relevantes no valor acrescentado para a melhoria da fiabilidade operacional da actividade produtiva. Assim, considera-se que os benefícios não advêm simplesmente da condução (produção) ou da manutenção dos equipamentos como processos de gestão isolados. Por isso, e de acordo com a figura 2.4 apresentada na página 96 do subcapítulo 2.1.1, se considera um modelo mais integrado de gestão operacional com o suporte no *outsourcing* estritamente indispensável. As condições necessárias para a geração de sinergias e a criação de maior valor para a Organização para além de suportadas por sistemas de informação transversais tecnologicamente avançados, e integrados, carecem e diferenciam-se através do *mix* de recursos Humanos em regime de *insourcing* e de *outsourcing* (*bestsourcing*) qualificados, motivados e competentes. As “parcerias” ou os acordos com os fabricantes de equipamentos e de componentes permitem também flexibilizar o número e a logística dos itens em *stock* de armazém; assegurar as recuperações dos materiais e, também, facilitar o *benckmarking* relativo às actualizações tecnológicas dos equipamentos e dos processos de produção. O *back-office* da produção responsável pelas melhorias do processo e da qualidade do(s) produto(s) em conjunto com o da manutenção responsável pela gestão dos activos produtivos podem beneficiar mutuamente de modelos integrados de melhoria contínua à semelhança do apresentado e desenvolvido neste trabalho. Estes, por sua vez, devem ser sustentados em filosofias, à semelhança da ROM – *Results Oriented Maintenance* apresentada na página 39 do subcapítulo 1.5.1.5, que conduzem a métricas concretas do desempenho e de indicadores operacionais de gestão da actividade. A filosofia TPM – *Total Productive Maintenance*, referida no subcapítulo 1.5.1.2, pode também ser uma alavanca aplicável nesta actividade industrial do tipo *flow-shop* e, conseqüentemente, no processo operacional em estudo.

6.2 – O diagnóstico e as circunstâncias operacionais na previsão de ocorrências

Por várias vezes ao longo deste trabalho foi referida a importância do diagnóstico no processo da manutenção dos equipamentos e também as circunstâncias operacionais em que as falhas e as avarias dos componentes ocorrem. Por isso, propõe-se, por um lado, um maior “esforço” e investimento nos sistemas de *interface* Homem máquina e, por outro lado, também se propõe um incremento em sistemas de base determinística e estocástica que permitam, de acordo com os subcapítulos 2.6.1 e 2.6.2, o tratamento da informação e a obtenção de resultados que visem a previsão das necessidades futuras. As variáveis físicas e as condições do processo impostas pela produção conjuntamente com as grandezas das variáveis de resposta observadas nos equipamentos são os dados de que se dispõe para uma adequada gestão integrada da exploração dos activos produtivos. Assim, os dados obtidos contínuos ou discretos correspondentes a eventos indesejáveis podem ser tratados e simulados em conjunto de forma a determinar e erradicar a origem das suas causas e, por consequência, melhorar a gestão e a fiabilidade operacional através de mecanismos que permitam a previsão.

6.3 – Os circuitos de comunicação, informação e logística operacionais

A eficiente utilização dos circuitos de comunicação interna e externa e da informação referida no subcapítulo 2.5 são também aspectos relevantes que contribuem significativamente para o desempenho do processo de gestão operacional. Assim a gestão do tempo no processo comunicacional deve ser observada, bem como a informação realmente com interesse recolhida muitas vezes oriunda dos erros cometidos internos ou externos. Num contexto hoje globalizado o *back-office* operacional deve também ter a responsabilidade em função dos dados que terá de dispor, por exemplo através de *benchmark*, para tratar e prever para além da gestão operacional corrente as situações logísticas associadas à descontinuidade do fornecimento de peças e de equipamentos em funcionamento nas instalações que entretanto se tornaram obsoletos devido à evolução tecnológica entretanto verificada ou, ainda, devido às exigências da implementação de acções transversais associadas à manutenção das certificações da Organização no âmbito da qualidade, da segurança ou do ambiente. Também a interpenetração da manutenção com os novos projectos produtivos é outro dos aspectos muito relevantes a considerar no desempenho e nos custos operacionais futuros.

6.4 – As qualificações, as competências específicas e a polivalência dos recursos

Referiu-se no sub-capítulo 1.8 que a actividade da manutenção industrial impõe um conjunto de qualidades e características de natureza pessoal exigindo muitas vezes dos seus participantes, para além das qualificações e das competências, um elevado grau de criatividade e também um elevado espírito de sacrifício, interacção Humana e resistência ao *stress*. Assim, estas características atrás referidas devem estar sempre presentes no *back-office* e *front-office* do processo de manutenção, seja através do regime de *insourcing* ou de *outsourcing* o que nem sempre se verifica na prática. Por isso, este aspecto é também um dos mais relevantes e a considerar quando se recorre à contratação da cedência de mão-de-obra e também nas empreitadas por não existir em tempo uma oferta suficiente que garanta as qualificações e competências normalmente requeridas para cada um dos recursos. Também, salvo algumas excepções de empresas entretanto certificadas na área das calibrações de equipamentos ou de outros serviços específicos mais especializados de manutenção, a maior parte das empresas prestadoras de serviços possuem um número reduzido de efectivos, por razões de flexibilidade dos custos, recorrendo, por sua vez, também à subcontratação temporária da mão-de-obra para fazerem face aos picos de trabalho. Face aos pressupostos atrás apresentados propõe-se dimensionar e qualificar eficazmente o efectivo em *insourcing* com os requisitos exigíveis e contratar pontualmente, mas a longo prazo (pelo menos por períodos de dois anos), com empresas especializadas os recursos de reforço e os específicos por exemplo por *clusters* com as qualificações e as competências requeridas.

6.5 – O dimensionamento mais adequado e flexível das equipas de manutenção

O dimensionamento das equipas “residentes” e as “não residentes” depende, como já foi referido no decorrer deste trabalho, da taxa de avarias, da taxa de reparações, das características do equipamento, e também do contexto operacional. Considerando que os recursos dispõem do adequado nível de qualificações e de competências. Propõe-se pois a utilização do modelo das filas de espera exponencial M/M/s aplicado ao processo de manutenção dos equipamentos de laboração contínua, para dimensionar o efectivo mínimo “residente” em *insourcing*, e contratar a longo prazo o *outsourcing* “não residente” para dar resposta aos picos de trabalhos que se verificam durante as paragens programadas de acordo com um número mínimo e máximo de trabalhos a realizar.

6.6 – A adequação das periodicidades dos planos de manutenção

Face aos resultados obtidos neste trabalho nos subcapítulos 5.5.4.1, 5.5.4.2, 5.5.4.3 e especialmente os apresentados no subcapítulo 5.6.1 pode-se, a partir destes, otimizar as periodicidades dos planos operacionais nomeadamente os da responsabilidade da manutenção e, por consequência, os custos associados à sua execução. Verificou-se que cada *cluster* ou família de equipamentos é caracterizado por uma taxa de avarias média.

Assim, na família dos equipamentos rotativos (motores eléctricos) e nos estáticos (arrancadores eléctricos) cujos tempos médios entre avarias (MTBF's) são os mais dilatados no tempo os quais são apresentados, sucintamente, na figura 5.117 do subcapítulo 5.6, pode justificar-se a locação periódica, menos frequente, das competências dos recursos Humanos na análise da condição; na lubrificação dos equipamentos rotativos; nas inspecções termográficas e, ainda, nas calibrações dos dispositivos de protecção e comando no caso dos equipamentos estáticos de alimentação eléctrica. A este respeito mas em termos comparativos referem-se os dados do *benchmarking* apresentado no subcapítulo 1.7.1. Propõe-se, também, adequar de uma forma dinâmica a periodicidade das inspecções sensoriais aos equipamentos estáticos responsáveis pelas funções da vedação e da condução dos fluidos usadas, exageradamente (pela condução e manutenção), em funcionamento normal em detrimento das situações mais críticas de paragem e de arranque das instalações. Também a diferenciação das diversas técnicas de inspecção e de diagnóstico *on-line* e(ou) *off-line* nas diferentes famílias de equipamentos com tempos médios entre avarias reduzidos deve ser incrementada. Finalmente, volta-se a referir a importância da acção dos operadores da condução dos equipamentos, nomeadamente os de campo, na redução das avarias verificadas nos equipamentos durante as fases de arranque recomendando-se por isso durante esses períodos de tempo o seu acompanhamento e a avaliação da condição dos mesmos pois, como se verificou, o tempo decorrido desde o início de uma falha até à avaria (período P-F apresentado na figura 2.13 da página 108 do subcapítulo 2.1.3) é nesta situação menor e, portanto, o risco de avaria aumenta como se apresentou na figura 2.8 da página 107. Também a instalação (montagem) nos equipamentos e nos dispositivos a eles associados de sensores *on-line*, hoje em dia já sem a necessidade da ligação por fios, é uma solução tecnológica a adoptar que proporciona acréscimos da produtividade operacional e com um *pay-back* normalmente reduzido.

7 – Análise aos resultados e conclusões

Nesta parte final do trabalho faz-se uma resenha metodológica ao trabalho efectuado e a análise dos resultados obtidos. Finalmente, depois da apresentação das conclusões evidencia-se a contribuição deste trabalho na inovação incremental da gestão operacional sendo ainda propostas novas perspectivas a considerar em futuros trabalhos.

7.1 – Resenha do trabalho e da metodologia. Análise de resultados

Com base nos pressupostos gerais do capítulo 1 e os principais conceitos de interesse para o trabalho apresentados no capítulo 2, o modelo de gestão operacional utilizado neste trabalho integrou o modelo dos riscos proporcionais (PHM), o das filas de espera (QM) e o de subcontratação apresentados no capítulo 3. A sua utilização simultânea permitiu maximizar a disponibilidade dos equipamentos e minimizar os custos operacionais. Assim, para além da aplicação dos modelos parciais atrás referidos fez-se também a sua interligação de uma forma original e inovadora com a qual se obteve bons resultados práticos no contexto operacional estudado e por isso se consideram aplicáveis como uma ferramenta de melhoria e de gestão operacional na indústria de processo.

A aplicação do modelo de gestão foi suportado inicialmente pelos dados fabris recolhidos entre 2004 e 2005 num ambiente industrial real em regime de *outsourcing* da manutenção analisado e comentado no subcapítulo 4.4. As medidas operacionais resultantes do modelo de gestão, apresentadas no subcapítulo 5.5, foram implementadas na prática sobre os equipamentos e as equipas de trabalho em regime de *insourcing* durante o período compreendido entre Novembro de 2006 e Julho de 2007. Os resultados observados foram recolhidos até ao final de Outubro de 2007. Assim, os valores esperados e os observados foram os que resultaram da aplicação da integração dos modelos apresentados no capítulo 3. O modelo semi-paramétrico (exponencial) usado, o dos riscos proporcionais, foi aplicado a um conjunto de equipamentos estáticos, rotativos e lineares da área do branqueamento da pasta para papel representativos do processo produtivo contínuo do tipo *flow shop*; o modelo de filas de espera, também exponencial, aplicado às equipas de reparação em consequência de falhas e das avarias a que estão sujeitos foi aplicado para dimensionar o *front-office* diário e dedicado da manutenção do processo de produção contínua.

Foi ainda usado o modelo de subcontratação suportado pela distribuição estatística rectangular e aos custos operacionais internos e externos para a sua aplicação no atendimento dos picos de trabalho em consequência do elevado número de equipamentos que aguardavam paragem das instalações para reparação simultânea.

O modelo geral proposto que incoorpora os modelos parciais usados deve ser interpretado como um modelo dinâmico. De facto os modelos parciais usados estabelecem entre si uma relação causa-efeito e, por isso, proporcionam ao *back-office* operacional uma estratégia de melhoria contínua do tipo *Plan-Do-Check-Act*.

O modelo dos riscos proporcionais (PHM) usado em detrimento dos modelos puramente estatísticos proporcionou a identificação dos factores significativos associados a determinados modos de falha e as circunstâncias operacionais respeitantes a um determinado período de tempo que mais influenciaram o risco de avaria de cada uma das famílias de equipamentos usando, para o efeito, o método de regressão de Newton-Raphson. Este modelo permitiu também, face às circunstâncias em que as avarias tiveram maior probabilidade de ocorrer e à sua frequência, otimizar as periodicidades das acções de manutenção proactivas (preventivas e preditivas). Face às várias verificações que conduziram à validação da aleatoriedade do processo das chegadas e ao ajustamento exponencial dos intervalos de tempo decorridos entre cada um dos pedidos ou notificações de reparação o modelo das filas de espera (M/M/s) proporcionou através das taxas de chegadas e de reparação, verificadas durante um determinado período de tempo, o dimensionamento operacional *insourcing* para o atendimento diário na forma de *first-in first-out* para um *backlog* próximo de zero.

Finalmente, verificando-se que periodicamente ocorrem paragens gerais das instalações de pequena duração e de grande duração e que bastantes equipamentos ficam sujeitos durante o atendimento diário a acções de manutenção imperfeita para não prejudicar a sua disponibilidade e a das instalações usou-se, por isso, um modelo de subcontratação ou de *outsourcing* suportado por uma estatística rectangular para atender a esses picos de trabalho de reparação (manutenção) durante as paragens das instalações e também devido à relação do custo da mão-de-obra interna e da externa. Depois da aplicação dos resultados dos modelos verificou-se que os intervalos de tempo entre paragens aumentaram e, por isso, também a quantidade de trabalhos a aguardar paragem.

Feita, sucintamente, a resenha dos principais aspectos ao trabalho efectuado apresenta-se em seguida a análise dos seus resultados.

No caso de estudo apresentado no capítulo 4 inserido em instalações que foram ao longo do tempo sujeitas a vários *up-grades* técnicos e organizacionais e em cuja indústria, a da produção da pasta para papel, se insere numa actividade globalizada já atingiu conforme referido no capítulo 1 o ponto de maturidade, justificando-se assim o objectivo do trabalho enquadrado na inovação incremental dos processos. O modelo geral aplicado neste trabalho permitiu identificar situações operacionais de maior risco de avaria para os equipamentos como nas paragens e nos arranques das instalações e também o dimensionamento e a especificação das competências necessárias ao *front-office* em *insourcing* dedicado e do *outsourcing* pontual da manutenção.

Com base nos dados históricos recolhidos, e apresentados nos capítulos 5.2 ao 5.4, de uma área piloto sujeita às mais severas condições de funcionamento representando cerca de 20% dos equipamentos da linha de produção de pasta (*fiber line*), identificaram-se os principais modos de falha associados a essas condições e quantificaram-se as diferentes covariáveis independentes. Com os resultados significativos dos coeficientes de regressão (β) do modelo de fiabilidade usado, resultaram os seguintes aspectos mais relevantes a maior parte deles comuns às diferentes famílias de equipamentos:

i) Aspectos relevantes no domínio da manutenção dos equipamentos

- O tipo de acções de manutenção efectuadas antes da ocorrência das avarias: Os coeficientes de regressão tomaram valores superiores a 4 nos equipamentos estáticos (tubagens e celas eléctricas) e nos equipamentos rotativos cerca metade daquele valor;
- A qualidade e a adequabilidade dos materiais na função que desempenham: O coeficiente tomou para as tubagens o valor de 8,4 sendo este o mais elevado;
- O nível de vibração dos equipamentos: O valor do coeficiente variou respectivamente para as tubagens e para as válvulas entre 0,3 e 0,05. Curiosamente dos equipamentos rotativos apenas nos motores eléctricos o coeficiente β tomou o valor de 0,05.
- A influência das estações do ano: Esta covariável relaciona-se directamente com a eficiência da climatização das salas eléctricas e as condições de selagem dos dispositivos eléctricos. O coeficiente de regressão tomou o valor de 4,4.

- As causas extrínsecas aos equipamentos principais: Neste caso o coeficiente atingiu o valor de 1,3. Foram consideradas como causas extrínsecas as variações de pressão das águas de vedação e refrigeração para os empanques; a qualidade do ar para os instrumentos; a sujidade dos equipamentos provocada por exemplo por derrames, etc.

ii) Aspectos relevantes no domínio da condução dos equipamentos

- As operações (procedimentos) da condução dos equipamentos nas situações de arranque: Os coeficientes β variaram entre 0,4 e 4. Os valores significativos mais altos verificaram-se nos equipamentos rotativos e o mais baixos nas tubagens e nas válvulas;
- As variações acentuadas do nível de produção dos equipamentos: Este aspecto verificou-se no caso do transportador de pasta cujo coeficiente tomou o valor de 1,6 e no funcionamento dos cilindros hidráulicos cujo coeficiente atingiu o valor de 0,07;
- A relação da quantidade da produção e o ritmo de funcionamentos dos equipamentos manifestou-se no funcionamento dos cilindros hidráulicos com um valor de 1,8.

Depois de caracterizadas e implementadas no “terreno” as medidas e as acções descritas no subcapítulo 5.5.3.2 destaca-se:

- A substituição da qualidade dos materiais das juntas das uniões flangeadas das tubagens e também algumas destas;
- A melhoria da eficiência da climatização e a pressurização das salas eléctricas assim como a estanqueidade das caixas de ligações;
- As inspecções aos equipamentos durante as fases de arranque quando ocorreram;
- A montagem de um conjunto de rolos alinhadores no tapete transportador de pasta;
- A calibração dos anéis de controlo de fecho e da abertura das válvulas automáticas;
- A utilização para além dos equipamentos rotativos do controlo de condição determinístico nos equipamentos estáticos, nomeadamente nas tubagens e nos cilindros hidráulicos;
- O recurso, se necessário, à manutenção imperfeita como consequência das acções de manutenção proactivas *on-line* e *off-line* detectivas para assim se evitarem paragens e consequentes arranques das instalações;
- A execução simultânea durante as paragens programadas das instalações de um conjunto de trabalhos nos equipamentos que aguardavam por reparação perfeita.

Dos resultados obtidos através do modelo dos riscos proporcionais destacam-se ainda por ordem decrescente os valores relativos às intensidades médias e da importância de algumas das covariáveis apresentadas na tabela 7.1 e obtidos pela multiplicação do valor dos coeficientes (β 's) pelos valores medidos (Z 's).

Tab. 7.1 – Intensidades médias mais significativas

Covariáveis	Intensidade média
Materiais das tubagens	7,2
Nível de vibração nas tubagens	4,8
Operações da condução dos equipamentos	3,2
Variações de produção	2,9
Acções de manutenção	2,2
Número de manobras	1,7
Estações do ano	1,4
Restantes covariáveis	< 1

Os resultados atrás apresentados estão de acordo com a caracterização das falhas e as avarias do subcapítulo 4.1 quantificadas através das figuras 4.7 à 4.9 onde as falhas por faltas de vedação e condução dos fluídos eram entre as demais as que tinham maior expressão. Posteriormente, após a implementação das acções consideradas de maior valor acrescentado de manutenção e de condução dos equipamentos apresentadas nos quadros 5.14 ao 5.18 do subcapítulo 5.5.3.2, verificou-se através dos novos dados recolhidos e dos resultados obtidos em 2007 já no regime chamado de *bestsourcing*, como por exemplo nas tubagens, que as covariáveis antes significativas deixaram de o ser. Também de acordo com os resultados do modelo se verificou que o tempo médio entre avarias aumentou e o número de paragens (*down-time*) da instalação diminuiu significativamente. O aumento verificado cifrou-se, nos equipamentos em estudo, entre 1,5 a 3 vezes e 8 vezes no caso do transportador de pasta. Nestas condições obteve-se também um número reduzido de paragens e uma redução do valor médio do *down-time* de 2,93 horas para 0,68 horas. Este valor nunca antes foi atingido conforme se pode comparar com os dados apresentados na figura 4.60 da página 231 do subcapítulo 4.3.

Em consequência do número e da tipologia das avarias que ocorreram e que ocorrem assim se depreende acerca da necessidade do maior ou menor número de recursos com as competências adequadas para as atender. Assim foi caracterizado o processo das chegadas e do atendimento dos pedidos de reparação.

O processo de chegadas dos pedidos de reparações fortuitas é aleatório e seguiu uma distribuição de Poisson pelas seguintes razões: o número das chegadas que ocorreram durante vários períodos de tempo é independente; a probabilidade de ocorrer uma chegada num intervalo de tempo curto é proporcional à duração do intervalo de tempo e não depende do número das chegadas fora desse intervalo de tempo; a probabilidade de ocorrer mais do que uma chegada nesse curto intervalo é insignificante. Os tempos de reparação dos diferentes serviços de manutenção foram determinados através dos registos do ponto às obras recolhidos através do CMMS (SAP/R3 módulo PM). Verificou-se que para além do coeficiente de variação tomar aproximadamente o valor de 1 a mediana foi, em geral, também inferior à média dos valores. Assim, o processo caracterizado pela taxa de avarias que decresceu em 2007 e a taxa de reparação ajustou-se a uma distribuição exponencial negativa tendo-se, com base nestes pressupostos, modelado o sistema do atendimento dos serviços de manutenção. A taxa de avarias da área mecânica tomou o maior valor e na área eléctrica o menor valor. A taxa de reparação tomou valores com uma grandeza inversa aos referidos para a taxa de avarias.

Para além dos tempos de reparação (atendimento) foi também caracterizado na tabela 4.10 do subcapítulo 4.1.6, no Anexo I nas páginas 475 à 477 e também na tabela 5.24 da página 302 do subcapítulo 5.3.4 que a dimensão necessária a cada uma das equipas de manutenção é uma variável que depende do tipo de equipamento a reparar e da(s) especialidade(s) envolvida(s) na reparação. A tabela 7.2 resume os resultados obtidos.

Tab. 7.2 – Dimensão das equipas de manutenção

Número de executantes	Mecânica	Eléctrica	Instrumentação
1	30% a 35%	70% a 80%	
2	50% a 55%	20% a 25%	
3 ou mais	Restante	Restante	

Os tempos de reparação, os logísticos (directos e inversos) e os de diagnóstico, incluídos nos tempos de reparação obtidos, são os apresentados na tabela 7.3.

Tab. 7.3 – Tempos de reparação e % logística e de diagnóstico

	Mecânica	Eléctrica	Instrumentação
Total reparações (horas)	3,75	3,3	3,1
Logístico e diagnóstico (%)	42%	56%	50%

Os valores atrás obtidos neste trabalho podem ser comparados com os referidos por Leite (2000) e que se apresentam na tabela 7.4.

Tabela 7.4 – Percentagens dos tempos de diagnóstico e de reparação

Sistemas/equipamentos	Tempos de diagnóstico	Tempos de reparação
Electrónicos	90%	10%
Eléctricos	60%	40%
Mecânica fina	40%	60%
Hidráulico	20%	80%
Mecânica geral	10%	90%

Os aspectos atrás referidos em conjunto com uma eficiente gestão e suporte logístico dos materiais e ferramentas de trabalho necessárias às diferentes actividades/tarefas da manutenção são fundamentais para o aumento da produtividade do trabalho. Refere-se Primer (1992) por salientar que a *performance* dos trabalhadores é também afectada, para além da qualidade do seu trabalho, por factores não directamente relacionados com aquela como sejam, entre outros, o nível tecnológico e o *design* dos equipamentos. No final de 2007 já concluída a integração dos serviços de electricidade e instrumentação a *performance* diária dos serviços de manutenção melhorou de uma forma visível através do nível do *backlog* que antes, conforme referido no sub-capítulo 5.4.3, indiciava uma sub capacidade situada entre as 600 e as 650 horas e que durante o 2.º semestre de 2007 após a implementação das medidas e a reestruturação da organização da manutenção tomou, conforme se evidenciou no sub-capítulo 5.5.4.2, valores reveladores de uma sobre capacidade como era esperado que pudesse vir a acontecer.

No entanto e de acordo com os modelos usados que se enquadram num processo de causa-efeito de melhoria continua do tipo *Plan-Do-Check-Act* continua-se a observar oportunidades de melhoria no desempenho da fiabilidade e da manutibilidade dos equipamentos. Esta observação faz-se por exemplo para os dispositivos e os equipamentos de indicação e também para as tubagens da condução dos fluídos do processo. De acordo com os resultados apresentados nas figuras 5.117 e 5.118 do subcapítulo 5.6.1 estas famílias de equipamentos estáticos ainda necessitam exageradamente dos serviços de instrumentista e de serralheiro mecânico e(ou) soldador do *front-office* da manutenção. Nesta perspectiva interessa também melhorar o conhecimento do estado de funcionamento dos equipamentos através de ferramentas e técnicas de diagnóstico *on-line* e *off-line* em separado ou em conjunto com as variáveis de carga e do processo produtivo permitindo avaliar e diagnosticar a condição dos componentes dos equipamentos associados aos diferentes padrões de falha. Por outro lado, também as rotinas sensorias e as respectivas periodicidades propostas corrigir nos planos de manutenção devem permitir acréscimos substâncias acerca do conhecimento do estado de funcionamento dos equipamentos e, por isso, devem ser geradoras de valor operacional. Tendo-se também verificado relevante o facto de bastantes avarias e pedidos de verificações dos equipamentos terem ocorrido após o seu arranque ou após alterações significativas no ritmo de produção, interessa pois que estas situações possam ser reduzidas através de níveis de carga mais estáveis nos equipamentos e condições de funcionamento mais adequados nomeadamente os mais complexos onde os modos de falha normalmente não estão relacionados com o tempo. Finalmente interessa ainda referir a importância dos factores Humanos bem como a formação e o treino contínuo do *front-office* e do *back-office* da manutenção.

A média dos custos da manutenção diária (até ao nível 4 da AFNOR) situa-se agora nos 18 euros por tonelada de pasta e o custo total (incluindo o nível 5 da AFNOR) no valor de cerca de 30 euros. Estes resultados representam, comparativamente aos do período do *outsourcing* da manutenção apresentados no subcapítulo 4.4, uma redução de 14 euros por tonelada de pasta produzida. Esta redução obtida nos custos de manutenção foi conseguida através da menor taxa de avarias, do redimensionamento e da reorganização dos efectivos internos e externos da manutenção das áreas fabris, da utilização mais racional dos materiais e, também, através das sinergias geradas pela melhor utilização dos sistemas de informação disponíveis no grupo Portucel Soporcel.

De acordo com o sub-capítulo 5.5.4.3, as famílias dos equipamentos estudados da área do branqueamento da pasta atingiram uma redução de custo dos materiais de *stock* da ordem dos 30% e uma redução da ordem dos 25% na linha de pasta (*fiber line*). A este propósito Brongers *et al* (2000) referem que os custos de manutenção estão bastante associados a um dos principais modos de falha originado pelo processo corrosivo a que estão sujeitos os materiais e os equipamentos das indústrias da produção da pasta para papel. Este processo é ainda mais acelerado devido à necessidade de se “fecharem” os circuitos dos fluidos do processo produtivo para reduzir o consumo de água e por consequência preservar-se o mais possível aquele recurso natural. A redução de custo obtido inclui também, para além dos custos operacionais que dizem respeito às reparações (perfeitas e imperfeitas) diárias dos equipamentos que inevitavelmente avariavam, as melhorias de eficiência e da eficácia dos tempos consumidos pelo pessoal da manutenção e da operação na execução de acções agora mais dirigidas para as razões das causas das falhas e das avarias em detrimento das puramente sistemáticas referidas na página 184 do subcapítulo 4.1.2.

Refere-se ainda um novo “paradigma” encontrado, em consequência dos resultados do modelo usado, ou seja o “reverso da medalha” da redução do número de paragens gerais das instalações e das oportunidades de manutenção devido às melhorias conseguidas na manutenção e na condução dos equipamentos. Estas melhorias permitiram periodicidades entre paragens superiores à antes verificada (de pelo menos mais um mês) coincidente com a necessidade de desobstrução do tubular do principal e mais crítico equipamento desta indústria a caldeira de recuperação. Face ao novo “paradigma” observado e atrás referido o número de equipamentos a aguardar reparação e a reparar durante estas paragens aumentou consideravelmente. Assim, para além do redimensionamento do efectivo necessário contratar pontualmente face ao aumento do número de reparações a efectuar torna-se fulcral e decisivo planejar, preparar e programar com maior eficiência os trabalhos a efectuar. Este novo “paradigma” identificado depois das medidas e as acções tomadas implica especialmente com as paragens de curta duração tornando-as ainda mais relevantes, de acordo com o apresentado no subcapítulo 5.4, pois pode significar um adicional que representa até o dobro do custo da mão-de-obra (*outsourcing*) prevista por paragem. Com os dados antes obtidos e usados no modelo de subcontratação para periodicidades entre paragens de 2 a 3 meses obteve-se um custo da mão-de-obra por paragem entre os 3300 e 3500 euros.

7.2 – Conclusões gerais

Este trabalho foi dividido em sete capítulos. No presente subcapítulo deste último capítulo apresentam-se as conclusões gerais tendo em conta os resultados obtidos e as conclusões mais específicas já apresentadas nos subcapítulos 4.6, 5.5.4, 5.6 e o 7.1. Nos subcapítulos 7.4 e 7.6 apresenta-se as razões da contribuição deste trabalho para a inovação incremental da gestão operacional e ainda sugestões para trabalhos futuros.

Em consequência dos resultados obtidos através do modelo de gestão usado e atendendo às características do contexto operacional do caso de estudo são retiradas as seguintes conclusões:

O modelo operacional usado é suportado por três modelos parciais. Um dos modelos parciais baseado na teoria das filas de espera procurou dimensionar as necessidades mínimas de recursos humanos executantes internos para o atendimento das reparações dos equipamentos que avariaram durante os intervalos de tempo em que funcionaram. Outro modelo parcial baseado na teoria dos riscos proporcionais recorreu ao histórico das avarias dos equipamentos e com base nos valores verificados das diferentes covariáveis mensuráveis e independentes determinou o risco de avaria dos equipamentos. Este modelo parcial conduziu e possibilitou de uma forma dinâmica a utilização dos seus resultados na melhoria dos planos operacionais de manutenção/produção. Finalmente, atendendo à realidade do contexto operacional de laboração contínua foi necessário considerar e assegurar durante as paragens programadas de curta duração das instalações fabris que os trabalhos de manutenção que aguardavam paragem das instalações fossem executados com recurso a executantes externos. Neste caso recorreu-se também ao CMMS – *Computer Maintenance Management System*, o SAP/R3, para se determinar através do modelo de subcontratação a quantidade de recursos para a execução de um número mínimo e máximo de trabalhos que historicamente aguardam paragem os quais, por sua vez, são proporcionais ao intervalo de tempo de funcionamento decorrido entre paragens. Assim, no caso em estudo, a abordagem feita ao longo do trabalho através da conjugação dos modelos de gestão e das práticas operacionais usadas e implementadas no terreno pelo *back-office* e *front-office* acrescentou valor permitindo identificar e prever os factores operacionais e organizacionais conducentes à melhoria da fiabilidade operacional.

A previsão das ocorrências foi proporcionada pelo modelo dos riscos proporcionais através da caracterização das medidas proativas e das acções concretas que permitiram reduzir o risco de avaria dos equipamentos. O valor percebido pelos utilizadores dos equipamentos ou seja o *up-time* foi atendido pelos serviços diários do *front-office* da manutenção dimensionados pelo modelo das filas de espera usando a *perfect or imperfect maintenance* de forma a não provocar o *down-time* do equipamento ou da instalação. Nos casos em que a requerida *perfect maintenance* não foi possível executar mas os equipamentos em falha puderam continuar a funcionar eles foram monitorizados *on-line* ou *off-line* usando variáveis (covariáveis) contínuas ou discretas indicativas da evolução da sua condição em intervalos de tempo mais curtos até ocorrer uma paragem programada. Para esta situação foi usado o modelo de subcontratação suportado no planeamento, preparação e programação dos trabalhos cuja eficácia é decisiva para os trabalhos dos equipamentos que aguardam paragem. Também devido aos factores associados à logística dos materiais nomeadamente nos casos de obsolescência ocorrem situações de *imperfect maintenance* e, posteriormente, nas paragens programadas seguintes são efectuados os necessários *up-grades*. Finalmente, interessa também referir a importância dos factores Humanos, a necessidade da formação e do treino do *front-office* e do *back-office* da manutenção nas áreas técnicas, económico-financeiras específicas e de gestão. Refere-se ainda que não foram consideradas neste trabalho as falhas de avaliação, de decisão e de execução em consequência de erros Humanos.

7.3 – Conclusões finais

O modelo global apresentado e experimentado neste trabalho que se considera estruturante foi desenvolvido através de modelos parciais exponenciais semi-paramétricos e paramétricos suportados por dados estocásticos e determinísticos. A experimentação do modelo permitiu tirar as conclusões que a seguir se apresentam:

i) O modelo de fiabilidade semi-paramétrico usado conjugou a teoria estocástica com a determinística. O modelo permitiu associar e tratar os intervalos de tempo entre as avarias verificadas com diferentes variáveis discretas ou contínuas independentes intrínsecas ou extrínsecas aos equipamentos e representativas do contexto operacional. Assim, foram identificadas as práticas operacionais a efectuar pelo *front-office* operacional que contrariaram os efeitos das variáveis atrás referidas;

ii) O modelo paramétrico usado para o dimensionamento dos recursos internos (*insourcing*) do *front-office* da manutenção usou como um dos *inputs* os resultados do modelo de fiabilidade e a quantificação do *backlog* avaliou a produtividade das equipas. Desta forma melhorou-se a produtividade operacional e a *performance* da Organização;

iii) O modelo de subcontratação também paramétrico baseado na possibilidade de se recorrer a recursos externos (*outsourcing*) para o *front-office* da manutenção atendeu os picos de trabalho que pontualmente se verificaram e é, conjuntamente com os modelos anteriores, aplicável nos contextos operacionais que exijam uma elevada disponibilidade dos equipamentos;

iv) O modelo global envolveu os três modelos parciais atrás referidos que conjugados e integrados entre si permitiu uma relação causa-efeito nos custos operacionais e conduziu a uma melhoria contínua. Um deles ao tratar da fiabilidade dos materiais proporciona aos outros modelos parciais a mais correcta adequação dos recursos e as competências necessárias no chamado regime de *bestsourcing* (*insourcing* e *outsourcing mix*) para o nível de fiabilidade alcançado. O último dos três modelos parciais permitiu ainda otimizar os custos para atender às paragens programadas com o nível de indisponibilidade operacional admissível.

Alguns dos modelos usados neste trabalho já foram enunciados individualmente no domínio da fiabilidade dos materiais e na investigação operacional dos processos. Já alguns autores estudaram a fiabilidade de equipamentos industriais proporcionada através do modelo dos riscos proporcionais mas muito poucos (ou nenhuns) experimentaram, implementaram e usaram na prática os seus resultados. Também se diz o mesmo para o caso dos modelos das filas de espera e de subcontratação dos recursos aplicados à realidade industrial. No entanto não se conhece, através da literatura ou outra forma de expressão, a experimentação prática conjugada dos modelos e em particular no domínio da manutenção e da condução de equipamentos industriais. Os *softwares* de simulação hoje em dia disponíveis no mercado e na Internet facilitam a utilização dos modelos usados, nomeadamente o dos riscos proporcionais e o das filas de espera, tendo-se no entanto verificado durante a fase da pesquisa efectuada neste trabalho que na prática industrial não se recorre a este tipo de modelos e de abordagens quantitativas.

Assim, na prática o dimensionamento dos recursos da manutenção industrial é quase sempre efectuado empiricamente ou por comparação (*benchmark*) entre cada situação concreta com outras situações conduzindo, muitas vezes, a “*outsourcing's*” inadequados e, por isso, corre-se o risco de perder a noção real das necessidades e dos custos mais ajustados à realidade. Tomando os resultados práticos obtidos neste trabalho conclui-se que é preferível para diminuir os custos de manutenção e consequentemente os custos operacionais das grandes unidades produtivas de processo contínuo recorrer à conjugação dos recursos internos e externos em vez de recorrer apenas aos externos.

Finalmente reafirma-se e recomenda-se nos casos em que existam dados históricos disponíveis e suficientes o uso de covariáveis representativas do contexto operacional em estudo e a utilização de métricas da *performance* operacional, como as taxas de chegadas e do atendimento dos pedidos de reparação, para se alcançar melhorias contínuas e sustentadas dos processos que visam a redução dos custos operacionais.

7.4 – Contribuição do estudo para a inovação incremental da gestão operacional

A investigação efectuada durante o desenvolvimento e a experimentação do(s) modelo(s) de gestão aplicado(s) a um contexto operacional real numa linha de produção de pasta de papel apresentou, como esperado e comentado na página 175, contributos estruturantes significativos e positivos na gestão operacional que a seguir se descrevem:

- i) O modelo permitiu obter uma abordagem da gestão operacional através de uma visão integrada, sustentada e mais abrangente;
- ii) O modelo é inovador porque permitiu interligar o processo das chegadas dos pedidos de reparação com a fiabilidade dos equipamentos e o processo do serviço de reparação com a produtividade das equipas. O modelo permitiu a redução do custo da manutenção e do custo operacional obtido através do regime chamado neste trabalho de *bestsourcing*;
- iii) O modelo permitiu trazer mais dados para o conhecimento do processo da manutenção industrial e para a realidade operacional;
- iv) A conjugação do modelo permitiu também efectuar o dimensionamento mais ajustado das equipas *insourcing* e *outsourcing* às necessidades operacionais;

- v) Foram estudados de forma diferenciada mas em simultâneo os diferentes modos de falha associados a diferentes grupos ou famílias de equipamentos, nomeadamente os equipamentos rotativos, estáticos e lineares;
- vi) Salienta-se a importância da redução do tempo necessário ao *back-office* operacional na obtenção de indicadores operacionais com a utilização do modelo integrado comparativamente com outros modelos ou filosofias de fiabilidade aplicadas isoladamente;
- vii) Quando existem vários dados históricos de interesse sobre as avarias dos equipamentos e do contexto operacional onde operam o modelo de fiabilidade semi-paramétrico tem vantagens sobre o paramétrico;
- viii) Quando existem vários dados históricos de interesse acerca da *performance* do *front-office* dos serviços de manutenção para o atendimento das avarias o modelo paramétrico é na maioria das situações preferível e aplicável;
- ix) Quando existem dados determinísticos e(ou) estocásticos sobre a condição dos componentes em falha, mas ainda em funcionamento, é possível quantificar e planear os trabalhos de manutenção a executar usando um modelo de subcontratação com base na estatística rectangular para o seu atendimento e assim reduzir também os custos fixos de manutenção;
- x) Obteve-se no caso de estudo uma probabilidade significativa do risco de avaria durante a fase de arranque dos equipamentos e a seguir a esta. Também aqui os sistemas de avaliação da condição *on-line* e *off-line* permitem conduzir à manutenção programada sob condição ou de oportunidade sendo preferíveis à manutenção preventiva sistemática;
- xi) Os modelos exponenciais representam e modelam com suficiente aproximação os processos industriais respeitantes às avarias e ao processo de atendimento da reparação dos equipamentos;
- xii) Face ao estado actual da utilização das práticas de manutenção na cadeia de valor verificou-se que os equipamentos estáticos estão mais expostos ao risco de avaria quando comparados com os equipamentos rotativos;
- xiii) A minimização dos custos operacionais consegue-se nos processos de laboração contínua através do aumento da disponibilidade (fiabilidade e manutenibilidade) dos equipamentos reduzindo-se assim as despesas de manutenção através do incremento da quantidade de produto produzido.

7.5 – Eventuais limitações do(s) modelo(s) usado(s)

Para a obtenção em conjunto dos resultados do(s) modelo(s) usado(s), ou seja da fiabilidade equipamentos (materiais), do dimensionamento das equipas operacionais (*insourcing*) da manutenção industrial e das oportunidades pontuais de subcontratação (*outsourcing*), é necessária a existência e a disponibilidade de um conjunto de dados históricos sobre as avarias e as operações do contexto operacional. Também o uso de *softwares* específicos para a introdução dos dados e que facilitem a obtenção dos resultados é outro aspecto a considerar para a aplicação do(s) modelo(s). Usou-se a disciplina FIFO no modelo das filas de espera em detrimento de outra para dimensionar as equipas *insourcing* porque os equipamentos produtivos estudados inserem-se num sistema contínuo e em série e, como tal, as falhas e as avarias que ocorrem podem provocar de imediato a sua indisponibilidade (*downtime*). Desta forma, e como as melhores práticas operacionais exigem, considera-se tão importantes as reparações mínimas (imperfeitas) ou curativas como as definitivas (perfeitas) ou correctivas, sem e com a paragem dos equipamentos. Também é fundamental conhecer-se a dimensão das equipas (servidores) e os tempos de serviço do processo de atendimento. Para a aplicação do modelo de subcontratação (*outsourcing*) pontual usa-se a distribuição rectangular, para atender a um número mínimo e máximo de equipamentos em falha a aguardar por reparação definitiva como de facto acontece na prática. Neste caso torna-se também necessário conhecer os custos da mão-de-obra interna e externa. Assim, não se identifica, à partida, limitações significativas do(s) modelo(s) aplicado(s) aos contextos operacionais com dimensão considerável, em série, e de laboração contínua. No entanto o mesmo pode não acontecer em contextos operacionais mais reduzidos e intermitentes.

7.6 – Contribuição para trabalhos futuros

Com a realização deste trabalho considera-se que se obtiveram mais dados e resultados para o conhecimento da realidade do processo de manutenção industrial pelo que ficam em abertas novas perspectivas de desenvolvimento e de investigação para outros trabalhos na área operacional de laboração contínua. Podem ser sugeridas as seguintes:

- i) O estudo do processo de manutenção e do atendimento das avarias que ocorrem para além do horário normal de trabalho;

- ii) A influência das adequadas qualificações dos recursos Humanos, ou a sua ausência, nos erros cometidos pelo *front-office* durante o processo de manutenção dos equipamentos;
- iii) Quantificar a contribuição do *back-office* da manutenção, ou seja a sua engenharia, nos processos de manutenção, melhoria e gestão dos equipamentos;
- iv) A influência do aprovisionamento e da logística directa e inversa dos materiais nos serviços de manutenção e na *performance* operacional;
- v) A relação entre a qualidade e o preço (custo) dos materiais e dos equipamentos aplicados no processo de manutenção na fiabilidade operacional;
- vi) A verificação da eficiência e eficácia dos planos operacionais de manutenção dos equipamentos medidos através da relação entre o número e o custo das inspecções efectuadas e as avarias verificadas durante os intervalos de tempo decorridos entre inspecções;
- vii) A contribuição efectiva dos sistemas de informação e dos de detecção e diagnóstico da condição do funcionamento das diferentes famílias de equipamentos na determinação do risco de avaria e nos custos da manutenção;
- viii) O estudo das vantagens e dos inconvenientes da contratação ou da subcontratação diferenciada de serviços especializados para cada *cluster* (família) de equipamentos a reparar das diferentes áreas fabris ou de apenas um *contractor* por área ou áreas fabris para vários *clusters* de equipamentos.

Bibliografia

A.E.M. (2000), El Mantenimiento en España, Encuesta sobre su situación en las empresas Españolas, Barcelona

AET (2002), Trends in World Bleached Chemical Pulp Production: 1990-2001, acedido em 2005 em <http://www.aet.org/reports/articles>

Alfares (2007), H. K., A simulation Approach for Stochastic Employee day Scheduling, International Journal of Modelling and Simulation, 10.2316, Journal 205

Almeida, A. T. (2001), Gestão da manutenção na direcção da competitividade, UFPE, Brasil

Almeida, A. T. (2005), Modelo multi-critério para a selecção dos intervalos de manutenção preventiva Investigação Operacional, Scielo, Vol. 25, N.º 1, Rio de Janeiro

Al-Najjar, Basim (2000), Impact of Real-Time Measurements of Operating Conditions on Effectiveness and Accuracy of Vibration-Based maintenance Policy. A case study in paper mill, Journal of Quality in Maintenance Engineering, Vol. 6, N.º 4, pp. 275-286

Alves, M. L.(1995), A Reengenharia dos processos de Negócio, Texto Editora, Lisboa

Amaral, F. D. (2000), Uma Abordagem Sistémica da Manutenção, Tese submetida à obtenção do grau de mestre pela UNL/FCT, Lisboa

Amari, V. (2004), CBM – Condition based Maintenance, Traditional Approach, acedido em 2006 em <http://www.relex.com>

Amato, N. (1994), Desverticalização, tercearização e as relações de subcontratação no complexo automobilístico brasileiro, Revista Gestão e Produção, Vol. 1, N.º 1, pp.29-48

Amgen, Inc.(2003), Essential Elements of Backlog, Maintenance Technology, acedido em 2004 em <http://www.mt-online.com/articles>

Ansell, J. I. (1987), Analysis of lifetime data with covariates, Proceedings 6th Reliability Conference, National Centre of Systems Reliability, Birmingham

Ansell, J. I.; Archibald T. W. e Thomas, L. C. (2004), The elixir of life: Using a maintenance, repair and replacement model, IMA Management Mathematics, 15, pp. 151-160(10)

Antoniol, G.; Casazza, G.; Lucca, G. D.; Penta, M. D. e Rago, F. (2001), A Queue Theory – Based Approach to Staff Software, Maintenance Centers, Proceedings IEEE International Conference, pp. 510-519, Italy

Aoki, M. (1990), The firm as a nexus of treaties, Sage, London

Apolinário, J. M. M. (1986), Subcontratação – Uma Oportunidade para as PME, Instituto de Apoio às Pequenas e Médias Empresas Industriais, Lisboa

Arenoso, Dunn (2004), Uma estrutura para alcançar a melhor prática de manutenção, acedido em 2005 em <http://www.maintenanceworld.com/articles>

Armstrong, Don (2006), Reliability-focused Spare Parts and Material Management, IDCON, Inc., U.S.A.

Arora, A.; Arunachalam, V. S. e Fernandes, R. (2001), The Indian Software Services Industry, Research Policy, Vol. 30, N.º 8, pp. 1267-1287

Asher, Harold e Feingold, Harry (1984), Repairable Systems Reliability: Modelling, Inference and Misconceptions and their causes, Marcel Dekker, Inc., New York

Ashley, David W. (2000), Introduction to Waiting Lines, L. L. Bean, Inc.

Assis, Rui (2004), Apoio à Decisão em Gestão da Manutenção - Fiabilidade e Manutenibilidade, Lidel, Edições Técnicas, Lda.

Asundi, J. e Sarkar, S. (2005), Staffing software Maintenance and Support Projects Systems Sciences, Proceedings of the 38th Annual Hawaii International Conference, University of Texas, U.S.A.

Aughenbaugh, Jason, D. (2003a), Backlog Interpretation and Analysis, Maintenance Technology, acedido em 2005 em <http://www.mt-online.com/component/article>

Aughenbaugh, Jason, D. (2003b), Essential Elements of Backlog Measurement and Analysis, Maintenance Technology, acedido em 2005 em <http://www.mt-online.com/component/article>

Azevedo, C. (2003), Asset Management: Casos concretos de optimização da relação risco/custo na manutenção industrial, Assetsman, S. Paulo, Brasil

Babbage, C. (1963), Economy of Machinery and Manufacturing, Frank Cass and Company, London

Badía, F. G.; Berrade, M. D. e Campos, C. A. (2002), Optimal Inspection and Preventive Maintenance of units with revealed and unrevealed failures, Reliability Engineering Systems Safety, pp. 157-163, London

Baek, Jun-Geol (2007), An intelligent condition-based maintenance scheduling model, International Journal of Quality & Reliability Management, Vol. 24, N.º 3, pp. 312-327

Baker, R. D (1991), Testing the Efficacy of Preventive Maintenance, Journal of Operational Research Society, Vol. 42, N.º 6, pp. 493-503

Baker, R. D. (1995), Can models fitted to small data samples lead to maintenance policies with near-optimum cost? IMA Journal of Management Mathematics, 6 (1), pp. 3-12

Baker, R. D. e Wang, W. (1993), Developing and testing the Delay-Time model, The Journal of the Operational Research, Society, Vol. 44, N.º 4, pp. 361-374

Baldin, A. e Furnaleto (1980), La Manutenzione Secondo Condizione, Franco Angeli Editore

Banjevic; Lin, D.; Wiseman, M. e Jardine, A. K. S. (2003), An Approach to Signal Processing and Condition-Based Maintenance for gearboxes subject to tooth failure, acedido em 2005 em <http://www.sciencedirect.com/science>

Barceló, Jaime (1996), Simulación de Sistemas Discretos, Isdefe, Publicaciones de Ingenieria de Sistemas, Madrid

Barlow, Richard E. e Proschan, Frank (1975), Statistical Theory of Reliability and Life Testing: Probability Models, Florida State University Tallahassee and Defense Technical Information Center

Barlow, Richard E. e Proschan, Frank (1965/1996), Mathematical Theory of Realibility, SIAM, DM-CEMAT, acedido em 2006 em <http://books.google.pt/book>

Barringer, H. Paul (1997), Life Cicle Costs and Reliability for Process Equipment, Energy Week, sponsored by ASME and API, Houston

Beamon, B. M. (1998), Supply chain design and analysis: Models and methods, International Journal of Production Economics, Vol.55, N.º 3, pp. 281-294

Belfo, J. A. A. S. (2007), Characterisation of the Refining Behaviours of Hardwood Papermaking Pulps, Tese submetida à obtenção do grau de Mestre em engenharia e ciências físicas pela Universidade de Manchester – Scholl of Materials, Manchester

Ben-Daya, M. (2000), You may need RCM to enhance TPM implementation, Journal of Quality in Maintenance Engineering, Bradford

Ben-Daya, M. (2002), The economic production lot-sizing problem with imperfect production process and imperfect maintenance, *International Journal of Production Economics*, N.º 76, pp. 257-264

Ben-Daya, M. e Makhdoum, M. A. (2002), Integrated Production Maintenance and Quality model under various preventive maintenance policies, *Journal of the Operational Research Society*, N.º 49, pp. 840-853

Bendell, A. (1985), Proportional Hazard Modelling in Reliability Assessment, *Reliability Engineering*, N.º 11, pp. 175-183

Bengtsson (2004), Condition Based Maintenance System Technology - where is development heading? Malardalen University, Sweden

Berger, C.; Blauth, R. e Borger, D. (1993), Kano's Methods for Understanding Customer - Defined Quality, *Center for Quality, Management Journal*, Vol. 4, pp. 3-36

Berkson, J. e Gage, R. P. (1950), Calculation of Survival Rates, *Proceedings of staff meetings of the Mayo Clinic*, 25, pp. 270-286

Berry, L. L. e Parasuraman, A. (1992a), A conceptual model of service and its implications for future research, *Journal of Marketing*, Fall, Vol. 9, pp. 41-50

Berry, L. L. e Parasuraman, A. (1992b), *Competindo através da qualidade*, Maltese-Norma, pp. 238, São Paulo

Bertalanffy, L. V. (1969), *General Systems Theory : Essays on its foundation and development*, Brazeller

Bhat, Vasanthakumar N. (2000), The determination of maintenance expenditures in chemical companies, *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, Vol. 6, N.º 2, pp. 106-112

Blanchard, B. S. (1986), Logistics Engineering and Management, Prentice-Hall, 3rd Edition, Englewood Cliffs, N. J.

Blanchard, B. S. (1993), Administración de Ingeniería de Sistemas, Grupo Noriega Editores, México

Blanchard, B. S. e Fabrycky, W. J. (1998) Systems Engineering and Analysis, Prentice-Hall, Inc.

Blanchard, B. S.; Dinesh, V. e Peterson Elmer L. (1995), Maintainability: A Key to Effective Serviceability and Maintenance Management, P.-Hall, Englewood Cliffs, N.J.

Bohoris, G. e Leitão, A. L. F. (1989), P.H.M. versus Two-sample Tests: A case study Journal of Royal Statistical Society (Series C)

Breslow, N. E. (1974), Covariate Analysis Survival Data, Biometrics, N.º 30, pp. 89-99

Bressan, G. (2002), Modelos de Simulação de Eventos Discretos, São Paulo

Brilman, Jean (1998), Les meilleures pratiques de management, Éditions d'Organisation, Paris

Brilman, Jean (2000), As Melhores Práticas de Gestão no Centro do Desempenho, Edições Sílabo, Lda., 1.^a Ed., Lisboa

Brockmayer, E. (1948), The life and works of A. K. Erlang, Danish Academy of Technical Science, Copenhagen

Brockmeyer, R. e Crowley, J. (1982), A confidence interval for the median survival time, Biometrics, N.º 38, 29-41

Brongers, Michael P. H. e Mierzwa, Aaron J. (2000), Pulp and Paper, Corrosion Control and Prevention, Technologies Laboratories, Inc., Ohio

Bronson, Richard e Naadimuthu, G. (1997), Operations Research, McGraw-Hill Companies, Inc., 2nd Edition

Brown, A. B. e Patterson, D. A. (2001), To Err is Human, Proceedings of the first Workshop and Evaluating and Architecting System Dependability, Goteborg, Sweden

Cabral, José P. S. (1998a), Organização e Gestão da Manutenção. Dos Conceitos à Prática ... , 2.^a Edição. Lidel Edições Técnicas, Lda., Lisboa

Cabral, José P. S. (2004b), Organização e Gestão da Manutenção. Dos Conceitos à Prática ... , 4.^a Edição, Lidel Edições Técnicas, Lda., Lisboa

Camp, R. C. (1994/1998), Global cases in Benchmarking. Best Practices from Organizations around the World, ASQC Quality Press, Milwaukee, N.Y.

Campbell, J. D. (1995), Outsourcing in Maintenance Management: A Valid Alternative to Self-Provision Journal Quality in Maintenance Engineering, Vol. 1, N.º. 3, pp. 18-24

Canuto, R. M. F. (2002), Manutenção Centrada na Fiabilidade – RCM2, dissertação para a obtenção do grau de Mestre em Instrumentação, Manutenção Industrial e Qualidade, UNL/FCT, Monte Caparica

Canuto, R. M. F. (2003), Manutenção Centrada na Fiabilidade – Aplicação prática numa indústria de celulose em Portugal, 1.º Encontro Luso-Brasileiro de Manutenção, MANTEC, Lisboa

Canuto, R. M. F. (2004), Different Maintenance Philosophies to Optimise the Equipment Efficiency and the most common Organisational Problems, 17th European Maintenance Congress and 3rd Industrial and Building Maintenance Exhibition, Barcelona

Canuto, R. M. F. (2005), Different Maintenance Philosophies to Optimise the Equipment Efficiency and the most common Organizational Problems, Plant Maintenance Engineering, N.º 10, pp. 39-42

Canuto, R. M. F. (2007), Detecção e redução de fugas em equipamentos estáticos, 8.º Congresso Ibero-Americano de Engenharia Mecânica, Cusco, Perú

Canuto, R. M. F. e Pereira, F. Didelet (2004), A Manutenção como um dos factores chave no sucesso da competitividade da(s) industria(s) de laboração contínua, Jornadas de Engenharia, FCTP, Porto

Canuto, R. M. F. e Pereira, F. Didelet (2004), Improvement of the Operational Reliability in an installation of production of pulp and paper, COMADEM, Cambridge

Canuto, R. M. F. e Pereira, F. Didelet (2005), As Melhores Práticas de Gestão para a Melhoria da Fiabilidade Operacional, 20.º Congresso Brasileiro de Manutenção, Expoman, Brasil

Canuto, R. M. F. e Pereira, F. Didelet (2006), Best Management Practices to Improve Operational Reliability, Cuba

Canuto, R. M. F. e Pereira, F. Didelet (2008), Desenvolvimento de um processo de optimização contínua da manutenção de uma linha de produção de pasta para papel, Tecnicelipa, Folha Informativa n.º 25, pp. 34, Tomar

Canuto, R. M. F.; Pereira, F. J. Didelet e Mendes, J. N. Marat (2002), Factores que Influenciam a Disponibilidade dos Equipamentos e das Instalações, 7.º Congresso Nacional de Manutenção, Viseu

Carr, M. J. e Christer, A. H. (2003), Incorporating the potential for human error in maintenance models, Journal of Operational Research Society, Vol. 54, N.º 12, pp. 1249-1253

Carr, M. J. e Wang, W. (2008), Comparing the Proportional Hazard Model and Stochastic filtering approach for estimation and control Maintenance activities using vibration information, acedido em 2008 em <http://www.euro.online.org>

Carvalho, M. Graça V. S. (1999), Efeito das Variáveis de Cozimento nas Características Químicas de pastas *Kraft* de *Eucalyptus Globulus*, Tese submetida para à obtenção do grau de Doutor de Engenharia Química, Universidade de Coimbra, FCTC, Coimbra

Carvalho, J. Mexia Crespo (2002), Logística, Edições Silabo, Lda., 3.^a Edição, Lisboa

Carvalho, J. Eduardo (2004), O que é a Produtividade, Quimera Editores, Lda., 1.^a Edição, Lisboa

Carvalho, Francisco A. T.; Rocha, F. R. B.; Carvalho, R. M. e Beltrão (2005), O processo de PCM com uso da ferramenta SAP/R3 – Caso Petobras, Brasil

Cassady, C. R. e Pohl, Edward (2001a), Introduction to Repairable Systems Modeling, acedido em 2007 na Web site do Department of Industrial Engineering University of Arkansas, acedido em <http://www.faculty.ineg.uark.edu/cassady>

Cassady, C. R. e Pohl, Edward (2002), Optimizing maintenance resource levels, Proceedings of the Eleventh Industrial Engineering Research Conference, acedido em 2007 em <http://www.emeraldinsight.com>

Cassady, C. R.; Pohl, Edward A. e Murdock, W. Paul (2001b), Selective Maintenance Modeling for industrial systems, Journal of Quality in Maintenance Engineering, Vol. 7, pp. 104-117

Cassady, C. R.; Murdock, W. P. e Pohl, E. A. (2001c), Selective Maintenance for Support Equipment Involving Multiple Maintenance Actions, European Journal of Operational Research, Vol. 129, N.º 2, pp. 252-258

Chitarro, L. e Kumar, A. N. (1998), Reasoning about Function and its Applications to Engineering, Artificial Intelligence in Engineering, 12, pp. 331-336

Christer, A. H.; Wang, W. e Baker, R. D. (1995), Modelling Maintenance practice of production plant using the delay-time concept. IMA Journal of mathematics applied in business and industry, N.º 6, pp. 67-83

Christopher, M. (1992), Logistics and Supply Chain Management, Pitman, Londres

Clamp, A. C. (1996), Profit from your Maintenance, Surrey, Work Structuring, Ltd

Connaughton, George E. (2000), The State of the Art of Maintenance in North America
15th European Maintenance Conference – Euromaintenance, Gothenburg

Coombs, C. F. e Ireson, W. G. (1988), Handbook of Reliability Engineering and Management, McGraw-Hill, New York

Correia, António D. (2000), A AutoEuropa: um modelo de produção pós-Fordista, *Análise Social*, Vol. XXXV (156), pp. 739-799

Correia, António D. (2003), A Flexibilidade nas Empresas, Edições Sílabo, Lda., 1.^a Edição, Lisboa

Costa, Ruy Araújo da (2002), Elementos de Investigação Operacional, Universidade Aberta, Lisboa

Courtois, A.; Pillet, M. e Martin-Bonnefois, C. (1996), Gestion de Production, Les Editions d'Organisation

Cox, A. (1996), Relational Competence and Strategic Procurement Management, *European Journal of Purchasing & Supply Management*, Vol. 2, pp. 57-70

Cox, A. ; Sanderson, J. e Watson, G. (2001), Supply chains and power regimes: toward an analytic framework for managing extended networks of buyer and supplier relationships, *The Journal of Supply Chain Management*, Vol. 37, N.º 2, pp. 28-35

Cox, D. R. (1972), Regression Models and Life-Tables (with discussion), *Journal of Royal Statistical Society, B* 34, pp. 187-220

Cox, D. R. e Oakes, D. (1984), Analysis of survival data, Chapman and Hall, London

- Cox, D. R. e Snell E. J. (1989), Analysis of Binary Data, Chapman and Hall/CRC
- Craveiro, J. (2000), A fiabilidade como base das opções de manutenção, MIIT, Portugal
- Cross, J. (2001), Risk Management, Business and Technology - University of New South Wales, Sidney
- Cross, D. e Harris, Carl M. (1998), Fundamentals of Queueing Theory, IIE Transactions: Operations engineering, John Wiley & Sons, New York
- Cuignet, Renaud (2006), Gestão da Manutenção. Melhore os desempenhos operacionais e financeiros da sua manutenção, Lidel – Edições Técnicas, Lda., Lisboa
- Cutler, S. J. e Ederer, F. (1958), Maximum utilization of the life table method in analysing survival, Journal of Chronic Diseases, pp. 699-712
- D'Alessio, E. (1991), Aplicación de la informática en la gestión del mantenimiento para el incremento de la productividad empresarial, 6.º Congreso Ibero-Americano de Mantenimiento, Perú
- Dale, C. J. (1985), Application of the proportional hazard model in the reliability field Reliability Engineering, N.º 10, pp. 1-14
- Daly, J.; Brooks, A.; Miller, J.; Roper, M. e Wood, M. (1995), The Effect of Inheritance of the Maintainability of Object-Oriented software: An Empirical Study, 11th International Conference on Software Maintenance, pp. 20
- Dantas, José (2001), Gestão da Inovação, Vida Económica, Porto
- Davenport, T. H. (1994), Process Innovation, Harvard Business Scholl Press, Boston
- Davies, A. (1997), The life cycle of a complex product system, International Journal of Innovation Management, pp. 229-256

- Demming, W. E. (1967), American Statistician, Vol. 2, N.º 2, U.S.A.
- Deming, W. E. (1986), Out of the Crisis, MIT Center for Advanced Engineering-Study, University Press, Cambridge
- Detragiache, P. (1994), Sensibilisation à la Gestion de la Maintenance, Maintenance & Entreprise, N.º 473, pp. 3-10, Paris
- Dhillon, B. S. (2008), Maintainability, Maintenance and Reliability for Engineers, Taylor and Francis Group, LLC
- Dhillon, B. S. e Liu, Y. (2006), Human error in Maintenance: A Review, Journal of Quality in Maintenance Engineering, Vol. 12, N.º 1, pp. 21-36
- Dias, J. Mendonça (2002), Fiabilidade em redes de distribuição de energia eléctrica, Tese submetida à obtenção do grau de Doutor pela TCT/UNL, Lisboa
- Dias Lopes, E. (2003), State of the Art on Life Assessment Technology, Proceedings of Symposium of ICV (Steam Plants Integrity), pp. 21-23, Rio de Janeiro
- Drucker, P. F. (1992), Managing for the Future: The 1990s and Beyond. Dutton, New York
- Drucker, P. F. (1995), The Practice of Management, Heinemann
- Drucker, P. F. (2005), The Essential Drucker. Vol.1, Harper Collins, New York
- Duffuaa, S. O. e Al-Sultan, K. S. (1997), Mathematical programming approaches for the management of maintenance planning and scheduling, Journal of Quality in Maintenance Engineering, Vol. 3, pp. 163-176
- Duffaa, S. O.; Campbel, John D. e Raouf, A. (2006), Sistemas de Mantenimiento/ Planning and Control of Maintenance Systems: Planeacion y Control, Ed. Limusa S. A.

Dunn, Sandy (2002), Maintenance Outsourcing - Critical issues, The Plant Maintenance Resource Center, TWI Press, Inc.

Dwight, R. A. (1995), Concepts for Measuring Maintenance Performance. New development in maintenance: an international view, Moret Ernst and Young, pp. 109-25

EFNMS (2004), European Federation of National Maintenance Societies, Euromaintenance, 17th International Maintenance Congress, Barcelona, Spain

Erlang, A. K. (1917), Solutions of some problems in the theory of probabilities of significance in automatic telephone exchanges, Elektroteknikeren, 13, 5

Ernst & Young and American Quality Foundation (1993), An Analysis of Management Practices that Impact Performance, Cleveland, OH, U.S.A.

Erquiaga, E. G. (2003), Organizar para criar valor, Vida Económica, Porto

Fawzi, B. B. e Hawkes, A. G. (1990), Availability of series System with Replacement and Repair, Journal Applied Probability, Vol. 28, pp. 873-887

Fawzi, B. B. e Hawkes, A. G. (1991), Availability of an R-out-of-N System with Spares and Repairs, Journal of Applied Probability, Vol. 28, N.º 2, pp. 387-408

Ferreira, L. A. (1998), Uma Introdução à Manutenção. Publindústria, Edições Técnicas, 1.ª Edição, Porto

Ferreira, L. A. (2003), Estratégias de Manutenção e Análise de Riscos Industriais, 1.º Encontro Luso-Brasileiro de Manutenção, Lisboa

Ferreira, L. A.; Leitão, A. e Pereira, F. (1996a), Previsão da fiabilidade por um modelo não paramétrico, 5.º Congresso Nacional de Manutenção Industrial, Figueira da Foz

Ferreira, L.; Leitão, A. e Pereira, F. (1996b), Proportional Hazard Method in Maintenance, Euromaintenance, 96, pp. 509-519, Copenhagen

Ferreira, L. A.; Silva, J. Montalvão; Craveiro, J. T.; Seabra, J. O. e Nunes, N. N. (2005), Técnicas de Controlo de Condição, MIIT – Serviços de Engenharia, Porto

Fialho, José F. T. (2004), Utilização de uma ferramenta da qualidade em centrais termoeléctricas: Árvore de falhas em geradores de vapor, Universidade Aberta, Lisboa

File, W. T. (1991), Cost Effective Maintenance, Butterworth-Heinemann, Oxford

Fishman, G. S. (1978), Principles of the Discret Event Simulation, John Wiley and Sons, Inc., New York

Fonseca, Jaime R. S. (1998), Estatística Matemática, Vol. II, SPB Editores, Lisboa

Fonseca, José M. L. (1998), Innovation: A property of complex adaptive social systems, Thesis Doctor Philosophy, University of Herfordshire

Ford, H. (1926), A minha vida e minha obra, Companhia Editora Nacional, S. Paulo

Franlund, J. (1994), Competence Assurance to Manage and Develop the Maintenance Activities – How to Become a Certified National or European Expert in Maintenance Management, the 4th National Maintenance Congress, Portugal

Freeman (1982), The economics of industrial innovation, Frances Pinter, London

Freeman e Perez (1998), New Technologies and Development, Pinter Publishers, London

Freire, A. (1997), Estratégia: Sucesso em Portugal, Editorial Verbo, Lisboa

Gago, Carlos C.; Cardoso, E. G.; Campos, José T.; Vicente, Luiz M. e M. Cardoso (2003), Produtividade em Portugal. Medir para Gerir e Melhorar, AIP – Associação Industrial Portuguesa

Garvin, D. (1987), Competing on the Height Dimensions of Quality, Harvard Business, Nov.-Dez., pp. 101-109

Gasmi, S.; Love, C. E. e Kahle, W. (2003), A general repair, proportional-hazard, framework to model complex repairable systems, IEEE Transactions, Vol. 52, N.º1, pp. 26-32

Gaspar, A. (2003), Os vértices para uma boa gestão, Jornal Expresso, pp. 22

Gehan, E. A. (1973), Simple Regression Methods for Survival Studies, Journal of the American Statistical Association, Vol. 68, N.º 344, pp. 848-856

Gepfert, A. H. (1968), Business Logistics for Better Profit Performance, Editions Hommes Techniques, pp. 75-84

Gephard, M. A. e Van Buren, M. E. (1996), Building synergy: The power of high performance work systems, Training and Development, pp. 22-36

Gianesi, I. G. N. e Correa, H. L. (1994), Administração estratégica de serviços – Operações para a satisfação do cliente, Atlas, São Paulo

Grafanhete, M. José B. (1996), Manutenção preventiva como factor chave da produtividade na cadeia de fornecimento logística, Lisboa

Gronroos, C. (1994), From scientific management to service management, International Journal of Service Industrial Management, Vol. 5, N.º 1

Gronroos, C. (2000), Service Management and Marketing : A Customer Relationship Management approach, John Wiley and Sons, Ltd, U.K.

Gross, D. e Harris, C. M. (1974/1998), Fundamentals of queuing theory, John Wiley and Sons, New York

Grossman, T. A. (1999), Spreadsheet Models and Simulation Improves, Understanding of Queues Interfaces, Vol. 29, N.º 3, pp. 88-103

Grothus, Horst (2003) Defects: Permissible, detectable and controllable, acedido em 2005 em <http://www.dr-horst-grothus.de>

Guimarães, L. Santos (1999), Síntese de doutrina de segurança para projecto e operação de submarinos nucleares, Tese submetida à obtenção do grau de Doutor em Engenharia Naval, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, Brasil

Gulati, R. (2000), Maintenance Tip, acedido em 2005 em <http://www.Maintenacetalk.com>

Gupta, U. e Gupta A. (1995), Outsourcing the IS function: Is it necessary for your Organization? Idea Group Publishing, pp.16-29

Gupta, I.; Zoreda, J. e Kramer, N. (1971), Hospital manpower planning by use of queuing theory, Health Service Research, N.º 6, pp. 76-82

Hackman, J. R. (1986), The design of work teams. In Lorsch, J. W. (Eds), Handbook of Organizational Behavior. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, pp. 315-42

Hall, R. W. (1991), Queuing – Methods: For Services and Manufacturing, Prentice Hall

Harem, Mohamed A. e Horner, Malcolm W. (2002), Factors affecting housing maintenance cost, Journal of Quality in Maintenance Engineering, Vol. 8, N.º 2, pp. 115-123

Harreld, H. (2004), Spare Parts Management – Keeping an eye on all your parts, acedido em 2005 em <http://www.infoworld.com/article>

Harrisson, A. (1993), Flexicraft, operator participation keys to mill maintenance efficiency. Pulp and Paper, N.º 67:2, 43

Henderson e Calvert (2000), Quality of life indicators, www.calvert-henderson.com

Hillier e Lieberman (1990), Introduction to Operations Research, Engineering and Computer Science.com, McGraw-Hill, 8th Edition

Honkanen, Tuomo (2004), Modelling Industrial Maintenance Systems and the Effects of Automatic Condition Monitoring, Dissertation for the degree of Doctor of Science in Technology, University of Technology, Helsinki

Honório, J. (2005), Info, Boletim Informativo do Grupo Portucel Soporcel, Mitrena, Setúbal

IDCON, Inc. (1997), Results Oriented Maintenance, acessado em 2004 em <http://www.tappi.org>

IDCON, Inc. (1998), Preventive Maintenance – Essential Care and Condition Monitoring, IDCON Inc., U.S.A.

Idhammar, Christer (1997), Results Oriented MaintenanceTM Management. IDCON, Inc., 4th Edition

Idhammar, Christer (2006), Reliability-focused Spare Parts and Material Management, IDCON, Inc., U.S.A.

Ingolfsson, A. e Grossman, T. A. (2003), Graphical Spreadsheet Simulation of Queues, *Informatics*, pp. 27-39

Ingolfsson, A. e Gallop, F. (2003), Queueing TollPack Software

Ireson, W. Grant; Coombs, Clyde F. e Moss, R. (1998/1998), Handbook of Reliability Engineering and Management, McGraw-Hill, London

Isdal, Tor G. e Waak, Olof (2001), Repair or Replenish? Maintain or Invest? Syscon AB, acessado em 2006 em <http://www.alcion.es/articulos>

Iyer, S. (1992), Availability results for imperfect repair. *Sankhya*, N.º 54, B, pp. 249-256

Jaakko Poyry Consulting Research Report (2003), *World Fibre Outlook up 2015*, Volume I, Executive Report, Vantaa, Finland

Jalashgar, A. (1997), Function - Oriented Systems Analysis, Proceedings of the 5th International Workshop on Functional Modelling of Complex Technical Systems, Paris

Jardine, A. K. S. (1979), *Maintenance, Replacement and Reliability*, Pitman Publishing, Ontario

Jardine, A. K. S. (1998), *Maintenance, Replacement and Reliability*, Pitman Publishing

Jardine, A. K. S. e Tsang, Albert H. (2006), *Maintenance, Replacement and Reliability: Theory and Applications*, CRC/Taylor and Francis

Jardine, A. K. S.; Anderson, P. M. e Mann, D. S. (1987), Application of the Weibull Proportional Hazard Model to aircraft and marine engine failure data, *Quality and Reliability Engineering International*, Vol. 3, pp. 77-82

Jardine, A. K. S.; Ralston, P.; Reid, N. e Stafford, J. (1989), Application to diesel engine failure data, *Quality and Reliability Engineering*, N.º 5, pp. 207-216

Jardine, A. K. S.; Makis, V.; Banjevic, D.; Braticevic, D. e Ennis, M. (1998), A Decision Optimization Model for Condition-Based Maintenance, *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, Vol. 4, N.º 2, pp. 115-121

Jardine, A. K. S. e Zhang, F. (1998), Optimal maintenance models with minimal repair periodic overhaul and complete renewal, *IIE Transactions*, Vol. 30, pp. 1109-1119(11)

Jeong, Ki-Young e Philips, Don T. (2001), Operational efficiency and effectiveness measurement, *International Journal of Operations and Production Management*, Vol. 21, N.º 11, pp. 1404-1416

Johnston, R. (1995), The Determinants of Service Quality: Satisfiers and Dissatisfiers, Vol. 6, pp. 53-71

Johnston, R. (2000), Service Operations management: Return to Roots, International Journal of Operations and Production Management, Vol. 19, N.º 2, pp. 102-124

Johnston, R. e Clark, G. (2005), Service Operations Management – Improving service delivery, Prentice Hall

Kahn, J.; Bevis, M.; Hayes, M.; O’Brien-Bills e Rodrigue, B. (2002), Benchmarking maintenance practices at North American paper mills, TAPPI, Vol. 85(8)

Kalbfleisch, J. D. e Lawless, J. F. (1998), Estimation of Reliability in Field-Performance Studies, Technometrics - Statistical Association and American Society for Quality, Vol. 30, N.º 4

Kalbfleish, J. D. e Prentice, R. L. (1980), The Statistical Analysis of Failure Time Data. John Wiley and Sons, Chichester

Kano, N. (1993), Attractive quality and must-be quality, The Journal of the Japanese Society for Quality Control, Vol. 14, n.º 2, pp. 39-48, Tokyo

Kano, N. (1995), Upsizing the Organization by Attractive Quality Creation, Paper presented at 1.st World Congress on Total Quality Management, London

Kanter (1988), Three Tiers for Innovation Research, Communication Research. Sage Publications, Vol. 15, N.º 5, pp. 509-523

Kanter, R. (1994), Collaborative advantage: The art of alliances, Havard Business Review, July-August, pp.96-108

Kantowitz, Barry H. e Sorkin, R. D. (1983), Human Factors: Understanding People – Systems Relationships, John Wiley and Sons, New York

Kaplan E. L. e Meyer (1958), Nonparametric from incomplete observations, Journal of the American Statistical Association, 53, pp. 457-81

Kaplan, R. S. e Norton, D. P. (1996), The balanced scorecard-translating strategy into action, Havard Business Scholl press, Boston

Kardec, A. e Nascif, J. A. (2005), Manutenção – função estratégica, Qualitymark, Ltda, Rio de Janeiro

Kececioglu, Dimitri (1991), Reliability Engineering Handbook, Vol. 1, 2, Prentice Hall, Inc., New Jersey

Kececioglu, Dimitri (1995), Maintainability, Availability and Operational Readiness Engineering. Handbook, Vol. 1, Prentice-Hall PTR, N. J.

Kelly, A. (1997), Maintenance Organization and Systems – Business-Centred Maintenance, Butterworth-Heinemann, Oxford

Kelly, A. e Harris, M. J. (1997/1998), Management of Industrial Maintenance, Newnes-Butterworths, Oxford

Kendall, M. K. e Stuart, A. (1976), The advanced theory of statistics, Vol. 1, Griffin, London

Keynes, J. Maynard (1972), Essays in Bibliography. The collected writings, Macmillan, London

Kijima, M. (1989), Some results for Repairable Systems with general Repair, Journal of Applied Probability, Vol. 26, N.º 1, pp. 89-102

Kijima, M.; Morimura, H. e Suzuky, Y. (1988), Periodical Replacement Problem without assuming minimal repair, European Journal of Operational Research, Vol. 37, N.º 2, pp. 194-203

- Kimura, Y. (1994), IV Congress International of TPM, IMC International, JIPM
- Kirwan, B. e Ainsworth, L. (1992), A Guide to Task Analysis, Taylor and Francis
- Kirzner, I. M. (1973), Competition and Entrepreneurship, Chicago University Press, Chicago
- Klein, J. P. e Moeschberger, M. L. (1996), Survival Analysis, Springer-Verlag, New York
- Kleinrock, L. e Gail, R. (1975/1996), Queuing Systems. Problems and solutions, John Wiley and Sons, New York
- Klijn, Arjo (2004), EFNMS – 17th European Maintenance Congress, opening ceremony, Barcelona
- Knapp, Gerald M. e Mahajan, Milind (1998), Optimization of maintenance organization and manpower in process industries, Journal of Quality in Maintenance Engineering, Vol.4, N.º 3, pp. 168-183
- Knapp, G. M. e Mann, L. (1998), Some aspects of measuring maintenance performance in process industry, Journal of Quality in Maintenance Engineering, Vol. 4, N.º 1, pp. 6-11
- Kolodny, H. e Stjernberg, T. (1993), Self-managing teams: The new organization of work, In Cohen, A. R. (Eds), The Portable MBA in Management, pp. 279-314, J. Wiley
- Kotler, P. (1980), Marketing, Edições Compacta, Editora Atlas, São Paulo
- Kotler, P. ; Armstrong, G. ; Saunders, J. e Wong, V. (1999), Principles of Marketing, Prentice Hall, Rio de Janeiro
- Krishnaiah, K. e Rao (1998), Quality Control and Reliability, Elsevier Science Publishers

Kumar, D. e Esa, S. (1993), Influence of Operating Environment on the Lifelength of Power Supply, Cables of Electrical Load-Haul-Dump Machines, ESREL

Kumar, D. e Klefsjo, B. (1993), Proportional Hazards Model: A Review, Reliability Engineering and Systems Safety, Vol. 44, N.º 2, pp. 177-188, Elsevier, Oxford

Kumar, U. D. e Knezevic, J. (1998), Availability based spare optimization using renewal process, Reliability Engineering and System Safety, Vol. 59, N.º 2, pp. 217-223(7)

Kung, H. J. e Hsu, C. (1998), Software maintenance life cycle model, 14th IEEE International Conference on Software Maintenance (ICSM 98), pp. 113

Lacity, M. C. e Hirschheim, R. (1993), Information Systems Outsourcing – Myths, Metaphores and Realities, John Wiley & Sons, Chichester, U.K.

Landers, R. R. (1996), Product Assurance Dictionary, Marlzton Publishers, N. J.

Lapierre, J. (2000), Customer - Perceived Value in Industrial Contexts, Journal of Bussiness and Industrial Marketing, Vol. 15, N.º 2/3, pp.122-140

Leibfried, Kathleen H J. e McNair, C. J. (1994), Benckmarking: Uma Ferramenta para a Melhoria Contínua, Coopers and Lybrand, Editora Campus

Leitão, Armando L. F. (1989), Proportional Hazard Methods in Industrial Reliability and Maintenance, Phd dissertation, University of Birmingham, U.K.

Leitão, Armando L. F. (1999), Fiabilidade e Manutibilidade, Curso de Mestrado em Instrumentação, Manutenção Industrial e Qualidade, UNL/FCT, Monte Caparica

Leitão, A. L. F. e Newton D. W., (1989), Proportional Hazard Modelling of Aircraft cargo door complaints, Quality and Reliability Engineering, N.º 5, pp. 229-238

Leite, A. D. Monteiro (1998), As Modernas Filosofias de Manutenção no limiar do novo milénio, APMI, N.º 56, Lisboa

Leite, A. M. (2000), Manutenção Industrial, Curso de Mestrado em instrumentação, manutenção industrial e qualidade, FCT/UNL, Monte Caparica

Leite A. M. e Pereira, F. Didelet (2003), Subcontratação em Manutenção, 1.º Encontro Luso-Brasileiro de Manutenção, Associação Portuguesa de Manutenção, Lisboa

Lepree, J. (2001), Target your training. How to determine and meet specific training needs, Industrial Maintenance and Plant Operations, Vol. 61

Levainen (2006), Usage and importance of applications in property maintenance management – Results of international questionnaire, Kiinteistöopin laboratorio, Finland

Levitt, Joel (1998), Internet Guide for Maintenance Management, Maintenance Technology, 1st Edition, Industrial Publisher

Lewis, E. E. (1987), Introduction to Reliability Engineering, John Wiley and Sons, Inc.

Lewis e Orav (1989), Simulation Methodology for Statisticians. Operations, Analysts and Engineers, Vol. 1, WadsWorth and Brooks

Li, Z.; Zhou, S.; Suresh, C. e Sievenpiper, C. (2006), Failure Event Prediction using Cox Proportional Hazard Model driven by frequent failure signatures, IIE Transactions, Vol. 39, N.º 3, pp. 303-315, Taylor and Francis Group

Lie, C. H.; Hwang, C. L. e Tillman, F. A. (1997), Availability of Maintained Systems: A State-of-the-Art Survey, AIIE Transactions, N.º 9(3), pp. 247-259

Lindqvist, B. e Tjelmeland, H. (1989), Na exponential regression for censored failure data: Estimation and graphical model checking, 10th Annual Symposium of reliability engineers, Scandinavian chapter, Stavanger, Norway

Lisboa, J. J. (1988), Qualification of Human error and common-mode failures in man-machine systems, Nuclear Science, IEEE Transactions, Vol. 35, N.º 1, pp. 907-911

Little, J. D. (1961), A Proof of Queuing Formula $L = \lambda W$, OPNS, Res, 9, pp. 383-387

Love, C. E. e Guo, R. (1991), Using proportional hazards modelling in plant maintenance, Quality and Reliability Engineering International, N.º 7, pp. 7-17

Lovelock, C. H. (1983), Classifying Services to Gain Strategic marketing insights, Journal of Marketing, N.º 47, pp. 9-20

Lubben, R. T. (1989), Just-in-time. Uma estratégia avançada de produção, McGraw-Hill, São Paulo

Lyonnet, Patrick (1989), La Maintenance – Mathématiques et Méthodes, Technique et Documentation. Lavoisier, Paris

Lyonnet, Patrick (1991), Les Outils de la Qualité Totale, Paris

Makis, V. e Jardine, A. K. S. (1991), Optimal replacement in the proportional hazard models, INFOR, N.º 30, pp. 172-183

Makis, V. e Jardine, A. K. S. (1992), Optimal replacement in the proportional hazard model. , Journal of the Operational Research Society, 43, pp. 111-120

Mann, L. (1983), Maintenance Management, 2nd Ed., D. C. Heath & Comp., Lixington, M. A.

Mann, L.; Saxena, A. e Knapp, G. M. (1995), Statistical-based or condition-based preventive maintenance? Journal Quality in Maintenance Engineering, 01(1), pp. 46-59

Marita, N. R. ; Timothy, W. e Blanchard, R. (1998), Keep It Running Industrial Asset Management, Scandinavian Center for Maintenance, Finland

Marques, M. M. L. (1992), Subcontratação e autonomia empresarial. Um estudo sobre o caso Português, Edições Afrontamento, Porto

Marques, Ana P. (1996), Gestão da Produção – Diagnóstico, Planeamento e Controlo, Texto Editora, Lda., 3ª Ed., Lisboa

Marshall Institute (1998), Preventive/Predictive Maintenance, The Marshall Institute, Raleigh, North Carolina, U.S.A.

Marshall, J. M. ; Wightman, D. W. e Chester, S. J. (1990), Proportional Hazard Analysis of Electrical Component Reliability Data, 11th Advances in Reliability Technology Symposium , Liverpool

Martin, H. H. (1997), Contracting out maintenance and plan future research, Journal of Quality in Maintenance Engineering, Vol. 3, N.º 2, pp. 81-90

Mason, S. (1992), Human aspects of maintenance, Rushworth AM, Maintenance, Vol. 7, N.º 3

Maynard, H. B. e Zandin, K. (2001), Maynard's Industrial Engineering Handbook, McGraw-Hill Companies, Inc., U.S.A.

Meekings, A. (1995), Unlocking the potential of performance measurement: A practical implementation guide, Public Money & Management, pp. 5-12

Mendes, A. L. Santos (2002), Gestão do Valor nas Operações de Manutenção, Tese submetida ao grau de mestre em Engenharia de Produção, UFSC, Florianópolis

Mendes, A. Cottini (2005), Aplicação da simulação da teoria das filas de espera nos estudos de fiabilidade e optimização das equipas de manutenção, Abraman – 20.º Congresso Brasileiro de Manutenção, Brasil

Mendes, A. B. (2006), Gestão Económica de stocks, Modelos de Gestão, Universidade dos Açores

Mendonça Dias, J. A.; Pereira, Z. L. e Leitão, A. F. (2002), O modelo de riscos proporcionais na gestão da manutenção, FCT, UNL, Lisboa

Mendonça Dias, J. A. e Pereira, Z. L., Fiabilidade e gestão da manutenção de sistemas reparáveis, acedido em 2007a em <http://www.xenofonte.demi.fct.unl.pt>

Mendonça Dias, J. A., Pereira, Z. L. e Leitão, A. L. F., A Gestão da Manutenção Industrial pela Fiabilidade, acedido em 2007b em <http://www.xenofonte.demi.fct.unl.pt>

Michael L. (1997), Do you listen when your equipment speak to you, IDCON Inc., acedido em <http://www.idcon.com/article>

Mierzwa, A. J. e Brongers, M. P. H. (2002), Pulp and Paper – Corrosion Costs and, Preventive Strategies in de United States, Department of transportation federal highway; U.S.A.

Mirshawwa, V. e Olmedo, N. C. (1993), Manutenção – Combate aos custos da não eficácia. McGraw-Hill, Ltd.

Mobley, K. R. (1999), Predictive Maintenance Equipment; PM/Pdm Handbook, Putman Publishing, Itasca, I. L.

Modarres, M. (1993), Functional Modelling of Complex Systems, Proceedings of the 1st International Workshop on Functional Modelling of Complex Technical Systems, Italy

Modarres, M. (2006), What Every Engineer Should Know about Risk Analysi, Marcel Dekker, Inc.

Moller, C. (1992), O lado Humano da qualidade, Edições Pioneira, pp. 179, São Paulo

Monchy, François (1989), A Função Manutenção: Formação em gestão da Manutenção Industrial, Durban, Rio de Janeiro

Monchy, François (2003), Maintenance – Méthodes e Organisations, Ed. Dunod

Montgomery, Douglas C. (1997), Introduction to Statistical Quality Control, 3th Edition, John Wiley and Sons, Inc., U.S.A.

More, R. e Rath, R. (1998), Combining TPM with RCM, Society for Maintenance & Reliability Professionals

Moreira, D. A. (2002), Administração da produção e das operações, Pioneira, São Paulo, Brasil

Moreira, M. (2005), Planeamento e controlo de operações em job-shop, PhD thesis, Faculty of Economics, University of Porto, Portugal

Moubray, John (1996), Maintenance Management – A new paradigm, Aladon, Ltd, U.K.

Moubray, John (1997), RCM II – Reliability-centred Maintenance, 2nd Edition, Butterworth-Heinemann, Oxford

Moubray, John (1999), Evaluation criteria for reliability-centered maintenance (RCM) process, Society of Automotive Engineers, U.S.A.

Moubray, John (2000), Manutenção Centrada em Fiabilidade – RCM, Edição Brasileira, Aladon Ltd, U.K.

Moubray, John (2003), 21st Century Maintenance Organization: The Asset Management Model, Maintenance Technology, acedido em 2007 em <http://www.mt-online.com>

Moura, Benjamim (2006), Logística. Conceitos e Tendências, Centro Atlântico, Papelmunde – SMG, Lda., Lisboa

Mudge, A. E. (1981), Value Engineering: A systematic approach, 2nd Edition, Pennsylvania, p. 286

Murdock, W. P. (1995), Componente availability for an age replacement preventive maintenance policy, Tese submetida à obtenção do grau de Doutor pela Air Force Institute-Patterson AFB, U.S.A.

Murteira, M. (2004), Economia Mundial, Difusão Cultural, Lisboa

Murty, A. S. R. e Naikan, V. N. A. (1995), Availability and Maintenance Cost Optimization of a production plant, International Journal of Quality and Reliability Management, Vol. 12(2), N.º 2, pp. 28-35, Cambridge

Mylopoulos, J. (1998), Information modelling in the time of revolution, Information Systems, Vol. 23, N.º 3-4, pp. 127-155

Nachlas (1998), Preventive Maintenance: The next Frontier in Industrial Productivity Growth. Industrial Engineering Solutions, Conference Proceedings

Nain, Philippe (1998), Basic Elements of Queuing Theory, Application to the Modelling of Computer Systems - University of Massachusetts, U.S.A.

Naikan, V. N. A. e Srinivasa Rao, P. N. (2005), Maintenance cost benefit analysis of production shops – Availability based approach. Reliability and Maintainability Symposium, pp. 404-409

Nakajima, S. (1989), Total Productive Maintenance Development program: Implementing total productive maintenance, Productivity Press, Cambridge

Nasman-Repo, Marita; Whale T. e Blanchard, R. (1998), Keep it Running Industrial Asset Management, Scandinavian Center for Maintenance Management, Painoyhtyma Oy , Loviisa

Newby, M. e Dagg, R. (2002), Optimal Inspection Policies in the Presence of Covariates, In Proceedings of ESREL, France

Newell (1982), Applications of Queuing Theory, Chapman and Hall, 2nd Edition

Ng, C. S. P.; Gable, G. e Chan, T. (2003), An ERP maintenance model, Proceedings of the 36th annual Hawaii International Conference on System Science, Hawaii

Nicolai, R. P.; Dekker, R. E Budai, G. (2006), A Review of Planning Models for Maintenance and Production, Econometric Institute

Niebel, Benjamin W. (1994), Engineering Maintenance Management. 2nd edition, Marcel Dekker, Inc., New York

Nishida, Shin-Ichi (1990), Failure Analysis in Engineering Applications, Butter-worth Heinemann, Oxford

Nóbrega, K. C. (1997), Gestão da Qualidade em Serviços, Tese submetida à obtenção do grau de Doutor apresentada na Universidade de São Paulo, Brasil

Normann, R. (1993), Administração de Serviços: Estratégia e liderança na empresa de serviços, Atlas, São Paulo

Novack, R. A.; Langley, J. C. e Rinehart, L. M. (1995), Creating Logistics Value: Themes for the future, Council of Logistics Management

Nowlan, F. S. e Heap, H. (1978), Reliability centred maintenance, National Technical Information Service Report N.º AD-A066-579, Springfield, Virginia, U.S.A.

O'Connor, P. D. T. (1991), Statistics in Quality and Reliability: Lessons from past and future opportunities, Reliability and System Safety, Vol. 34, pp. 23-33

O'Connor, P. D. T. (1992), Process action Team handbook, Reliability Analysis Center, New York, U.S.A.

O'Connor, P. D. T. (1996), Practical Reliability Engineering, 3rd Edition Revised, John Wiley & Sons, Chichester, New York

O'Connor, P. D. T. (1998), Standards in Reliability and Safety Engineering, acedido em 2007 em <http://www.pat-oconnor.co.uk/standards.htm>

O'Connor, P. D. T. (2000), Reliability past, present and future, IEEE Transactions on Reliability, acedido em 2001 em <http://www.pat-oconner.co.uk>

Ohmae, K. (1982), The Mind of the Strategist – The art of Japanese Business, McGraw-Hill

Oman, P. e Pearse T. (1995), Maintainability measurements on industrial source code maintenance activities Proceedings of IEEE International Conference on Software Maintenance, pp. 295-303, France

Parasuraman, A.; Zeithaml, V. A. e Berry L. L. (1998), Servqual: A multiple-item scale for measuring consumer perceptions of service quality, Journal of Retailing, Vol. 64, N.º 1, pp. 12-40

Parasuraman, A.; Zeithaml, V. A. e Berry L. L. (1990), Delivery Service Quality, Free Press, New York

Parasuraman, A.; Zeithaml, V. A. e Berry L. L. (1991), Understanding Customer Expectations of Service, Sloan Management, pp. 39-48

Pasta e Papel (2005), Que estratégia para a fileira florestal do eucalipto?, Pasta e Papel - Revista Portuguesa para a indústria papeleira, N.º 39, Setúbal, Portugal

Patrick, Ken (2002), Planning more Effective Maintenance Shutdowns, PaperAge, Nov/Dec

Patterson, James G. (1996), Benchmarking Basic. Looking for a Better Way, Crisp Publications, Inc.

Patterson, James G. (1996/1998), Conceitos Fundamentais de Benchmarking. À Procura de um Melhor Caminho, Monitor – Edições para Profissionais, 1ª Edição

Patton, Joseph D. (1994), Maintainability and Maintenance Management, Instrument Society of America, Library of Congress Cataloging-Publication Data, 3rd Ed.

Pecht, Michael (1995), Product Reliability, Maintainability and Supportability Handbook, CRC Press, New York

Pelz, Corey J. e Klein, John P. (1997), Analysis of Survival Data: A comparison of three major statistical packages SAS, SPSS and BMDP

Penta, M. D.; Antoniol, G.; Casazza, G. e Merlo, E. (2001), Modeling web Maintenance Centres Through Queue Models, 5th European Conference on software maintenance and engineering, pp. 131

Pereira, F. Didelet (1996), Modelos de Fiabilidade em Equipamentos Mecânicos, Tese submetida à obtenção do grau de Doutor em Engenharia Mecânica, FEUP, Porto

Pereira, F. Didelet (1998), Proportional Hazard Method-Location and procedures, Euromaintenance, Croácia

Pereira, F. Didelet e Canuto, R. M. F. (2007), Detecção e redução de fugas em equipamentos estáticos, 8º Congresso Ibero-Americano de Engenharia Mecânica, Perú

Pereira, F. Didelet e Viegas, J. C. (2003), Planeamento da Manutenção, Instituto Politécnico de Setúbal, Escola Superior de Tecnologia, Setúbal

Petit, A. N. e David, I. B. (1990), Investigating time dependence in Cox's proportional hazard model, Royal Statistical Society, N.º 39, pp. 313-329

Pezzullo, John (2005), Cox Proportional Hazard Survival Regression Software, acedido em 2005 em <http://statpages.org/prophaz>

Pham, H. e Wang, H. (1996), Imperfect Maintenance, European Journal of Operational Research, Vol. 94, pp. 425-438

Pigoski, T. M. e Nelson, L. E. (1994), Software maintenance metrics: A case study, Proceedings International Conference, pp. 392-401, Canadá

Pina, Heitor (1995), Métodos Numéricos, McGraw-Hill, Ltd

Pintelon, L; Nagarur, N. e Puyvelde, F. V. (1999a), Case study: RCM – Yes, no or maybe? , Journal of Quality in Maintenance Engineering, Cambridge, 5(3), pp. 182-191

Pintelon, L. Preez, N. D. e Puyvelde, F. V. (1999b), Information Technology: Opportunities for maintenance management, Journal of Quality Maintenance Engineering, Vol. 5, pp. 9-24

Pinto, Victor M. (1994), Gestão da Manutenção: Área da produção, IAPMEI – Instituto de Apoio às Pequenas e Médias Empresas e ao Investimento, Lisboa

Pinto, C. V. (2002), Organização e Gestão da Manutenção, Monitor – Projectos e Edições, Lda., 2ª Edição, Lisboa

Pinto, Sofia S. (2003), Gestão dos Serviços. A avaliação da qualidade, Editorial Verbo, Lisboa

Pinto, João P. (2006), Gestão de Operações na Indústria e nos Serviços. Com as modernas práticas de gestão de operações melhora o desempenho da sua organização, Lidel – Edições Técnicas, Lda., Lisboa

Pires, A. Ramos (2000), Qualidade. Sistemas de gestão da qualidade, Edições Sílabo, Lda, 2ª Edição, Lisboa

Pisano, G. (1997), The Development Factory: On looking the potential of process innovation, Library of Congress Cataloguing, Publications Data

Pollaczek e Khintchine, The P-K formula, acedido em 2006 em <http://www.fabtime.com/p-k.shtml>

Porter, M. (1985), Competitive advantage – Creating and sustaining superior performance, The Free Press, New York

Porter, M. (1986), Technology and competitive advantage, The Free Press, pp. 164-200, New York

Porter, M. (1989), Competitive Strategy: Techniques for analysing industries and competitors, Free Press, New York

Porter, M. (1996), Vantagem Competitiva, Editora Campos, Rio de Janeiro

Prabhu, N. U. (1960), Some results for the queue with Poisson arrivals, Journal of Royal Statistical Society, B22, pp. 104-107

Prabhu, V. V.; Koomsap, P. e Shaikh, N. I. (2005), Integrated process control and condition-based maintenance scheduler for distributed manufacturing control systems, International Journal of Production Research, Vol. 43, N.º 8, pp. 1625-1641

Prahalad, C. e Hamel G. (1990), The Core Competence of the Corporation, Havard Business Review, Vol. 68, N.º. 63, pp. 79-91

Prentice, R. (1973), Exponential Survival with censoring - explanatory variables, Biomatrika, pp. 279-288

Quinello, Robson e Nicoletti, J. Roberto (2005), Inteligência Competitiva nos departamentos de Manutenção industrial no Brasil, Revista de Gestão da Tecnologia e Sistemas de Informação, Vol. 2, N.º 1, pp. 21-37

Quinn, J. e Hilmer, F. (1994), Strategic Outsourcing, Sloan Management Review, Vol. 35, N.º 4, pp. 43-55

Ramalhoto, M. F. e Sysky, R. (1996), Queueing and Quality Service, Investigação Operacional, Vol. 16, pp. 155-172

Ramalhoto, M. F. (1999), A framework for quality improvement of queueing systems of the service industry, Bulletin of the International Statistical Institute, 52nd Session Proceedings, Tome LVIII, Finland

Rao, B. K. N. (1996), The need for condition monitoring and maintenance management in industries Handbook of Condition Monitoring, Elsevier Science, (1), pp. 1-36

Rao, C. R. (1973), Linear statistical inference and its applications, John Wiley and Sons, New York

Rasila, H. M. e Gersberg, N. F. (2007), Service Quality in Outsourced facility maintenance services, Journal of Corporate Real Estate, Vol. 9, N.º 1

Read, W. F. e Miller, M. S. (1991), The State of Quality in Logistics, International Journal of Physical Distribution and Logistics Management, Vol. 21, pp. 32-47

Reason (1990), Human Error, Cambridge, University Press

Reddy, C. Rami e Rao, D. Vijaya Bhaskara (1996), Cost-optimal maintenance policies with increasing hazard rate, Journal of Quality in Maintenance Engineering, Vol. 2, N.º 3, pp. 60-65

Reis, L. (2005), Manual da Gestão de Stocks: Teoria e Prática, Editorial Presença, Barcarena

Reliasoft Corporation, aceso em <http://www.weibull.com/availability.htm>

Resing, J. A. C.; Adan, I. J. B. F. e Boxma, O. J. (2002), Queueing Theory, Eindhoven University of Technology, Netherlands

Resing, J. A. C.; Adan, I. J. B. F. e Boxma, O. J. (2004), Queueing Models with Multiple Waiting-Lines, Springer Netherlands, Vol. 37, N.º 1-3, pp. 65-98

Rich, Nick e Holweg, Matthias (2000), Value Analysis – Value engineering, Lean Enterprise Research Centre, U.K.

Roldão, Victor S. (2002), Planeamento e Programação das Operações na indústria e nos serviços, Monitor - Projectos e Edições, Lda., Lisboa

Rose, K. H. (1995), A performance measurement model, Quality Progress, pp. 63-6

Ross, S. M. (1983), Stochastic Process, John Wiley and Sons, New York

Rothery, B. e Robertson, I. (1995), The Truth About Outsourcing, Gower Publishing

Roy, K. R. (1998), Taking the Guesswork out of the Plant, Chemical Engineering, Vol. 105, N°1, pp. 68-75

Rumo, Michel (2002), Business Process Maintenance, the 16th International Maintenance Conference – Euromaintenance, Helsinki, pp. 359-363

Santos, António J. R. (1998), Outsourcing e Flexibilidade. Uma Ferramenta de Gestão do Séc. XXI, Texto Editora, Lisboa

SAP (1972), Systems Applications and Products in Processing Date, Wallford, Germany

Sasseron, Pedro L. e Abackerli, A. J. (2003), Métodos de Ensaio Acelerado como Alternativa para os Dados de Vida do Fornecedor, Revista de Ciência & Tecnologia, Vol. 11, N.º 22, pp. 43-48

Schmidt, R. (2000), Physical asset system in developing countries, Engineering in Medicine, Proceedings of the 22nd Annual International Conference of IEEE, Vol. 2

Schoenberger, R. (1986), World Class Manufacturing, Free Press, New York

Sena, F. M. Vicente (2001), Modelo Funcional de Gestão da Manutenção Baseada na Fiabilidade, Tese de Doutoramento em gestão na especialidade de produção e serviços, Universidade Aberta, Lisboa

Sena, F. M. e Pereira, F. Didelet (2002), Maintenance Functional Modeling with Fault Tree Analysis, Esreda, Madrid, Espanha

Sequeira, Sebastian E.; Moisès, Graells e Puigjaner, L. (2002), Off-Line and On-Line Approach for Optimal Maintenance Management of Continuous Parallel Process with Decreasing Performance, ACS Publications, Ind. Eng. Chem. Res., 42(8), 1761-1772, 2003 e 41(7), 1815

Sherif, Y. S. e Smith, M. L. (1981), Optimal maintenance models for systems subject to failure – A review, Naval Research Logistics Quarterly, 28, pp. 47-74

Sherwin, David (2000), A Review of Past and Current Overall Models for Maintenance Management, Quality in Maintenance Engineering, Vol. 6

Silva, N. (2000), Metodologia de Apoio à Definição de uma Estratégia de Manutenção – Uma Aplicação da Reliability-centered Maintenance, Tese submetida ao grau de Mestrado em Manutenção Industrial, FEUP, Porto

Silvestro, R.; Fitzgerald, L.; Johnston, R. e Voss, C. (1992), Towards a Classification of Service Process, , International Journal of Service Industry Management, Vol. 3, N.º 3, pp. 62-75

Silvestro, R. e Cross, Stuart (2000), Applying the Service Profit Chain environment, International Journal of Service Industry Management, MCB UP, Ltd, Vol. 11, N.º 3, pp. 244-268

Slack, N.; Chambers, S. e Johnston, R. (2004), Operations Management, Pitman, London

Smith, A. (1950), The Wealth of Nations – An inquiry into to nature and cause of the wealth of Nations

Smith, K. E. (1987), Maintenance survey shows emphasis on preventive techniques continues, Pulp and Paper, 61:2, 97

Smith, K. E. e Carpenter, B. A. (1986), Survey discovers emphasis in preventive maintenance grown, Pul and Paper, 60:9, 60

Smith, R. e Black (2000), Plant Services, acedido 2005 em <http://www.plantservices.com/articles>

Soininen, J. (1995), The dynamics of IS outsourcing

Souris, J. P. (1992), Manutenção Industrial – Custo ou Benefício? Edições Lidel (CETOP), Lisboa

Srivastava, J. N. (1993), Some basic contributions to the theory of comparative life testing experiments. Advances in Reliability, Elsevier Science Publishers

Stark, G. E. (1996), Measurements for Managing Software Maintenance, Proceedings International Conference, Mitre Corp., pp. 152-161

Strub, J. J. (2003), Computerized maintenance management system, web^Rwork

Sun e Basu (1993), Mixture Hazard Models for Lifetime Data, Biometrical, Journal, Vol. 44, pp. 3-14

Sun, Y.; Ma, L.; Mathew, J. e Zhang, S. (2004), Experimental research on interactive failures, Proceedings of the International, Conference of Maintenance Societies, Sydney

Sun, Y.; Ma, L.; Mathew, J. e Zhang, S. (2004), Estimation of Hazard of Mechanical Systems using *on-line* vibration data, Proceedings of the International Conference on Intelligent Maintenance System, Arles, France

- Suzuki, T. (1995), TPM in process industries, Productivity Press, Portland, O.R.
- Swain, A. D. e Guttman, H. E. (1983), Handbook of Human Reliability Analysis, U. S. Nuclear Regulatory Commission, Sandia National Laboratories, U.S.A.
- Szeto, C. e Jimenez, L. (2005), Consumer Preferences for Communications Media, Background Paper N.º4, Corporate Strategy Group-Pitney Bowes
- Tavares, L. Valadares; Oliveira, Rui C.; Themido, Isabel Hall e Correia, F. Nunes (1996), Investigação Operacional, Mcgraw-Hill de Portugal, Lda., Alfragide
- Taylor, F. W. (1911), The Principles of Scientific Management, Harper and Row
- Taylor, J. C. e Felton, D. F. (1993), Performance by Design, Prentice-Hill, Englewood Cliffs, N. J.
- Thomas, D. R. E. (1978), Strategy is different in service business, Harvard Business Review, pp. 158-165
- Thorstensen, T A. e Rasmussen, M. (1999), A cost for condition based overhaul/replacement, Journal of Quality in Maintenance Engineering, Vol. 5, pp. 102-114
- Tiexer, Pierre-Éric ; Sainsaulieu, R. e Marty, Marie-Odile (1997), La democratie en Organization, Klincksieck, Paris
- Tomasko, R. M. (1987), Downsizing: Reshaping the corporation for the future, Amacon, N.Y.
- Treacy, M. e Wiersema, F. (1997), Discipline of market leaders, Perseus Books Group, U.S.A.
- Tsang, Albert H. C. (1998), A Strategic Approach to Managing Maintenance Performance, Journal of Quality in Maintenance Engineering, Vol. 4, N° 2, pp. 87-94

Tsang, Albert H. C. (2002), Strategic Dimensions of Maintenance Management, Journal of Quality in Maintenance Engineering, Vol. 8, N°1, pp. 7-39

Urwin, B.; Jamieson, C. e Erickson, B. (1998), Life Cycle Costs for Chemical Process Pumps, Chemical Engineering, Vol. 105, N°1, pp. 82-85

Villemeur, A. (1992), Reliability, Availability, Maintainability and Safety Assessment – Methods and Techniques, John Wiley & Sons, Ltd., Chichester, U.K.

Viosca, R. R. (1998), Maintenance Technology, Vol. 11, N.º 5

Visser, K. (1998), Modelling maintenance performance a practical approach, IMA Edinburgh conference, pp. 1-13

Walters, D. (1999), Marketing and Operations Management: Integrated approach to new ways of delivering value, Management Decision, MCB Press, N.º 37/8, pp. 643-656

Wand, M. P.; Carroll, R. J. e Rupert, D. (2003), Semi-parametric Regression, Cambridge Series in Statistical and Probabilistic Mathematics, Cambridge University Press, New York

Wang, H. e Pham, H. (1996), A quasi renewal process and applications in imperfect maintenance, International Journal of Systems Science, 27(10), pp. 1055-1062

Welle, V. (1994), Purchasing Management: Analysis, planning and practice, Chapman & Hall, pp. 27

Williamson, O. (1979), Transaction-cost Economics: The Governance of Contractual Relations, Journal of Law and Economics, Vol. 22, N.º 2, pp. 233-261

Williamson, K. e Spitzer, D. (1990), Modern Logistics Systems: Theory and Practice, Journal of Business Logistics

Wireman, T. (2004a), Developing Performance Indicators for Managing Maintenance, Maintenance Management Library, New York

Wireman, T. (2004b), Maintenance Work Management Processes, Library of Congress-in-Publications Data, Industrial Press, Inc.

Wiseman, M. (1999), Optimizing Condition Based Maintenance: Getting most out of your Equipment Before Repair Time, Plant Engineering and Maintenance, Vol. 23, Issue 6, pp. 57-68

Wiseman, M. (2000), E-business and physical asset management, Plant Engineering and Maintenance, Vol. 24, N.º 6, pp. 31-43

Wiseman, M. e Jardine, A. K. S. (1999), Proportional Hazard Modelling: A new weapon in proceedings of condition monitoring, Coxmoor Publising, pp. 359-366, U. K.
Wolff, R. (1989), Stochastic Modelling and Theory of Queues, Prentice-Hall, N.J.

Wu, Haiqiao; Liu, Yi; Ding, Yunliang e Liu, Jia (2004), Methods to reduce direct maintenance costs for commercial aircraft, Aircraft Engineering and Aerospace Technology, Vol. 76, N.º 1, pp. 15-18

Wu, Shaomin e Clements-Croome, D. (2005), Preventive maintenance models with random maintenance quality, Reliability Engineering and Systems Safety, Vol. 90, pp. 99-105

Xie, M.; Kong, H. e Goh, T. N. (2000), Exponential approximation for maintained Weibull distributed component, Journal of Quality in Maintenance Engineering, Vol. 6, N.º 4, pp. 260-268

Zhang, Daowen; Lin, X.; Raz, J. e Sowers, M. (1998), Semi-parametric stochastic models, Journal of the Statistical Association, Vol. 93, N.º 442, pp. 710-719

Lista de símbolos (Latim)

a	– Número mínimo de trabalhos
A	– Disponibilidade
A_0	– Disponibilidade operacional
A_A	– Disponibilidade alcançada
A_I	– Disponibilidade intrínseca
b	– Número máximo de trabalhos
C_f	- Custo fixo
$C(n)$	– Número de executantes que minimizam os custos
$c(t)$	– Custo de operação por unidade de tempo
C	- Custo
C'	– Competência
C_m	– Número de criticidade
C_p	– Custo da substituição preventiva
C_r	– Custo da substituição
C_s	– Custo da mão-de-obra sub-contratada
CS	– Consistência do serviço
$C(t_r)$	– Custo óptimo entre substituições
CU	– Custo (directo e indirecto)
C_w	- Custo da mão de obra interna
$E(T)$	– Valor esperado
$f(r)$	– Função rectangular de densidade probabilidade
$f(t)$	– Função de densidade da probabilidade de falha
FL	- Flexibilidade
$F(t)$	– Probabilidade acumulada de falhas
$h(t)$	– Função de risco
$h(t;z)$	– Função de risco com vector de covariáveis
$h_0(t)$	– Função de risco base arbitrária
i	– Taxa de inspecções
I	– Média dos custos de inspecção
K	– Criticidade
L	– Verosimilhança parcial
L'	– Número médio de equipamentos no sistema

LL – Logaritmo de verosimilhança
 L_q – Comprimento médio da fila de espera
 $L(\beta)$ – Verosimilhança condicional
 $m(t)$ – Taxa de reparação
 m – Número de trabalhos
 $\overline{M}$ - *downtime*
 $M(t)$ – Probabilidade da reparação no tempo t
 n – Número de executantes
 P – Eficiência
 $P(n)$ – Provento por unidade de tempo
 Q – Qualidade
 R – Média dos custos de reparação
 $R(t)$ – Função de fiabilidade
 $R_0(t)$ – Função de sobrevivência base
 $R(t;z)$ – Função de sobrevivência ou de fiabilidade com vector de covariáveis
 $s(t)$ – Probabilidade de sobrevivência
 t – Tempo
 t_p – Tempo óptimo de substituição
 t_r – Intervalo de tempo correspondente ao custo óptimo
 T – Tempo de resposta até o atendimento
 U – Número aleatório uniforme
 V – Valor monetário da produção por unidade de tempo
 VA – Velocidade de atendimento
 $Var(T)$ - Variância
 W – Tempo médio de espera no sistema
 W_q – Tempo médio de espera na fila
 Z – Vector (linha) das n covariáveis

Continuação da lista de símbolos (Grego)

α – Taxa de avarias para um modo de falha

β – Parâmetro de forma na distribuição Weibull ou vector (coluna) dos coeficientes de regressão do PHM

β_1 – Probabilidade condicionada da perda de função

η – Parâmetro de escala

λ – Parâmetro da distribuição exponencial negativa que relaciona o número médio de acontecimentos por unidade de tempo. Taxa da ocorrência do evento (avarias; chegadas)

λ_n – Chegadas no processos de nascimento e morte

λ_p – Taxa de avarias do componente

μ – Taxa de reparações

μ_n – Saídas no processo de nascimento e morte

ρ – Taxa de ocupação

Lista de abreviaturas

ACE – Acordo Complementar de Empresa
AEM - Asociación Española de Mantenimiento
AET – Alliance for Environmental Technology
AFIT – Air Force Institute of Technology
AFNOR – Associação Francesa de Normalização
AGREE – Advisory Group on the Reliability of Electronic Equipment
API – American Petroleum Institute
APICS – Association for Operations Management
APMI – Associação Portuguesa de Manutenção Industrial
ASME – American Society of Mechanical Engineers
AVR – Avaliação da vida restante
Backlog – Trabalho para execução em atraso
BMDP – *Software* applications for statisticians, clinical researchers and data analysts
BPM – Business Process Management
BS – British Standard
BSC – Balance Score Card
CBM – Condition Based Maintenance
CEN – Comité Européen de Normalisation
CFM – Conceção Fabrico e Montagem
CMMS – Computer Maintenance Management System
COF – Consequência de uma falha
CRP – Capacity Requirements Planning
CSI – Condition monitoring analyser data system software
DCS – Sistema de controlo distribuído
DOM – Design-Out Maintenance
EAM – Enterprise Asset Management
ECF – Elementar Cloro Free
EFNMS – European Federation of National Maintenance Societies
ERP – Enterprise Resource Planning
ESA – European Sealing Association
ECT – European Training Committee
FAILURE – Metodologia de análise de falhas por fenómenos de corrosão

FBM – Failure Based Maintenance
 FDMS – Fiabilité, Disponibilité, Maintenabilité e Sécurité
 FIFO – First-In First-Out
 FMEA – Failure Mode and Effects Analysis
 FMECA – Failure Mode, Effects and Criticality Analysis
 HIDA – Probabilistic sensitivity of crack
 HRA – Human Reliability Analysis
 IC – Índice de Criticidade
 IDCON – Reliability consultant
 IEC – International Electro-technical Commission
 IEEE – International Electrical and Electronics Engineers
 IFORS – International Federation of Operational Research Societies
 ILS – Suporte Logístico Integrado
 IMS – Itens de Manutenção Significativos
 ISA – Independent Safety Assurance
 ISO – International Standard Organization
 ISQ – Instituto de Soldadura e Qualidade
 Jaakko Poyry – Companhia de consultores da indústria da pasta e do papel
 KPI – Key Performance Indicator
 LCC – Life Cycle Cost
 LOF – Probabilidade de uma falha
 M/M/S – Fila de espera sem memória com S servidores
 M/M/S/N – Fila de espera sem memória com população finita e S servidores
 METHOD – Methodology for Analysis of Corrosion Failure in Maintenance
 MIIT – Manutenção Industrial Informatizada e Tecnologia
 MIL-STD – Military Handbook
 MIMOSA – Machine Information Management Open Systems Alliances
 MLP – Medium Production Losses
 MRP – Material Requirements Planning
 MTBF – Mean time between failure
 MTBM – Mean Time Between Maintenance
 MTBPL – Mean Time Between Data Loss
 MTTF – Mean time to failure
 MTTR – Mean time to repair

NDE – Non-destructive Examination
NF – Norma Francesa
NHPP – Non Homogeneous Poisson Process
OEE – Overall Equipment Effectiveness
OME – Overall Machine Efficiency
OREDA – Offshore Reliability Data
OSA-CBM – Open System Architecture for Condition Based Maintenance
PASTA – Poisson Arrivals See Time Averages
PCM – Planeamento e Controlo da Manutenção
PCO – Planeamento e Controlo de Operações
PdM – Predictive Maintenance
P-F – Período de tempo entre a falha e a perda de função
PHM – Proportional Hazard Model
PM – Preventive Maintenance
PrNP- Projecto de Norma Portuguesa
QM – Queueing Model
RAMC – Reliability, Availability, Maintainability and Capability
RAMS - Reliability, Availability, Maintainability and Safety
RBI – Risk Based Inspection
RCM – Reliability Centered Maintenance
RIMAP II – Risk Based Inspection and Maintenance
ROCOF – Rate of Occurrence of Failures
ROM – Results Oriented Maintenance
SAE – Society of Automotive Engineers
SAP/R3 - Systems Applications and Products in Processing Date
SAS – Statistical Analysis System
SCEMM – Scandinavian Center for Maintenance Management
SFC – Shop Floor Control
SHERPA – Systematic Human Reduction and Prediction Approach
SIGMA – Sistema Integrado de Gestão de Materiais e Aprovisionamento
SIL – Safety Integrity Levels
SITAF – Sistema Integrado de Avaliação da Fiabilidade
SLA – Service Level Agreements
SMT – Self Managing Teams

SPI – Sociedade Portuguesa de Inovação

SPSS – Statistical Package for the Social Science

STATISTICA – *Software* de métodos estatísticos

STS – Science and Technology Studies

TAD – Tonelada de pasta seca

TAPPI – Association for the worldwide pulp paper and converting industries

THERP – Technique for Human-Error Rate Prediction

TI – Tecnologias de informação

TPM - Total Productive Maintenance

TQM – Total Quality Management

U(T)BM – Use (Time) Based maintenance

ANEXOS

Anexo I – Tempos médios da duração das reparações e dimensão das equipas

Apresenta-se neste anexo os dados referidos na página 208 do subcapítulo 4.1.6 relativos à duração média das reparações dos componentes ou dos equipamentos e a respectiva dimensão das equipas intervenientes do *front-office* da manutenção. Todos os dados foram recolhidos através do CMMS usado. O SAP/R3 (módulo PM).

Componente ou equipamento	Equipa (quantidade) e duração média (horas) de execução							
	Mecânica		Eléctrica		Instrumentos		Plásticos	
	Equipa	Tempo	Equipa	Tempo	Equipa	Tempo	Equipa	Tempo
Acoplamento	2	4,6						
Actuador					2	2		
Acumulador	2	3,4						
Aparadeira	x	x					x	x
Armadura			1	4				
Bomba	2	5,1						
Botoneira			1	4				
Casquilho	1	x					x	x
Caudalímetro					1	5,6		
Caixa			1	4,5			x	x
Cela			1	4,5				
Cilindro	3	7						
Condutor			1	x	2	8		
Conversor			1	4	x	x		
Corrente	1	x						
Crivo	4	x						
Distribuidor	x	x					2	3,2
Dobradiça	1	x			1	x		
Elevador			x	x				
Empanque	2	6,5						
Detector			1	3,4				
Disjuntor			1	x	1	x		

Anexo I (continuação)

Componente ou equipamento	Equipa (quantidade) e duração média (horas) de execução							
	Mecânica		Eléctrica		Instrumentos		Plásticos	
	Equipa	Média	Equipa	Média	Equipa	Média	Equipa	Média
Ficha			1	x	1	x		
Filtro	1	x						
Flange	1	x					1	x
Guincho			1	3				
Haste	2	8						
Indicador pos.					1	3		
Interruptor			1	1	1	x		
JB					2	1		
Junta	2	4,5					2	4
Lâmpada			1	5,3				
Manómetro					1	3,5		
Misturador	3	x						
Mola	1	x						
Motor			2	5,3				
Parafuso	1	3,3						
Permutador	2	x						
Porta								
Posicionador					1	2		
Pressostato					1	2		
Purgador	1	x			1	x		
Quadro El.			1	2				
Redutor	2	x						
Regulador					1	3,5		
Relé			1	5				
Retentor	1	x						
Rolo	2	4,4						
Sensor			1	x	1	4,2		
(Shunt)			1	2,4	1	x		
Suporte	2	7,5			1	1		

Anexo I (continuação)

Componente ou equipamento	Equipa (quantidade) e duração média (horas) de execução							
	Mecânica		Eléctrica		Instrumentos		Plásticos	
	Equipa	Média	Equipa	Média	Equipa	Média	Equipa	Média
Tampa	1	x					x	x
Tanque	2	9,2					x	x
Tela	2	7,2					x	x
Tomada			1	x	1	x		
Torre (tanque)	2	x						
Transmissor					1	4,9		
Transportador	3	5					x	x
Tubagem	2	6,7			1	3	1 a 3	6,2
Utensílio	1	x					1	x
Válvula automática					2	4,2		
Válvula manual	2	4,1					1	x
Vedante	2	4,3			1			
Ventilador	x	x					x	x
Visor	1	3,5					1	x
Outros								

Nota: Nas células assinaladas com x não se obtiveram dados nas amostras consideradas.

Anexo II – Dados observados para as covariáveis das tubagens

Data da avaria	Hora	Tempo (dias)	Covariáveis - Tubagens da lavagem da pasta										Localização (torre)
			A	B	C	D	E	F	K1	K	H	G	
								(valores)					
05.07.04	08.10		0	18	1	70	3,9	18	1	1	1	40	D1.2
07.07.04	12.05	33	0	40	0	68	4	105	1	0	1	35	D0
02.08.04	15.35	28	1	6	0	47	3,5	135	0	1	0	60	D2
04.08.04	13.10	2	0	21	1	74	4,2	25	1	1	1	30	D1.1
06.08.04	08.15	2	0	13	1	70	3	18	1	1	1	40	D1.2
10.09.04	9.55	35	1	20	0	68	3,5	105	1	0	0	35	D0
14.09.04	16.55	4	0	9	1	91	3,6	18	1	0	1	40	E1.2
27.09.04	07.35	13	0	9	1	91	2,8	18	1	0	1	40	E1.2
02.11.04	07.40	36	0	9	1	91	4,3	23	1	0	0	45	E1.2
04.01.05	09.05	63	1	5	1	91	4,7	18	1	0	0	40	E1.2
14.03.05	10.30	69	1	10	1	74	3,9	25	1	1	0	30	D1.1
24.03.05	11.10	10	0	21	1	74	3,9	25	1	1	1	30	D1.1
07.04.05	09.45	14	0	40	0	74	4	25	1	0	0	20	D0
15.04.05	13.40	8	0	9	1	91	4,2	18	1	0	1	40	E1.2
16.04.05	18.30	1	0	7	1	94	3,4	18	1	0	1	40	E1.1
26.04.05	09.05	10	0	4	1	94	4,7	18	1	0	0	40	E1.1
06.05.05	08.35	10	1	20	0	68	4,2	105	1	0	0	35	D0
14.05.05	03.55	8	0	40	0	68	3,5	105	1	0	1	35	D0
08.06.05	09.05	25	0	22	1	91	4,6	18	1	0	1	20	D1.1
22.06.05	09.55	14	0	7	1	94	4,2	18	1	0	0	40	E1.1
04.07.05	16.55	12	1	20	0	68	4,2	105	1	0	0	35	D0
14.07.05	09.05	10	0	10	0	47	3,5	135	0	1	0	60	D2

Nos dados acima apresentados são também identificadas (localização) as torres onde se verificaram as avarias das tubagens não sendo, no entanto, este factor considerado à partida como uma covariável a usar. O significado das covariáveis atrás identificadas por A, B, C, D, E, F, K1, K, H e G abaixo apresentadas e as seguintes estão de acordo com a tabela 5.3 da página 270 do subcapítulo 5.2.4.

Covariáveis relacionadas com as falhas de vedação nas tubagens com modos de falha associados à rotura mecânica devida ao desgaste, à fadiga e ao choque

A	1	Ocorrência verificada em regime de funcionamento normal
	0	Ocorrência em funcionamento a seguir a um arranque
B	Valor	Nível de vibração da tubagem (valor)
C	0	Estado da tubagem (idade/nº reparações) - Bom
	1	Idem - Mau
E	Valor	PH do fluído (valor)
F	Valor	Caudal do fluído (valor)
K1	1	Material da tubagem - FRP (polyester reforçado)
	0	Material da tubagem - aço inoxidável
K	1	Altura manométrica da torre/comprimento da tubagem - Baixa
	0	Idem - Alta

H	1	Última acção de Manutenção antes da avaria – Acção curativa
	0	Última acção de Manutenção antes da avaria – Acção detectiva
D	Valor	Temperatura da tubagem (valor)
G	Valor	Percentagem de abertura de válvula(s)

Nota: O período de observação e de recolha dos dados decorreu aproximadamente entre o 2.º semestre de 2004 e o 1.º semestre de 2005

Anexo III – Dados observados para as covariáveis das celas eléctricas

Data da avaria	Hora	Tempo (dias)	Covariáveis - Celas ou arrancadores eléctricos							Obs
			A	D	H	O	S	S1	A1	
26.01.99			1	1	0	1	0	0	1	
19.08.99		217	1	0	1	1	0	1	0	
22.09.00		408	1	0	1	0	0	1	1	
13.10.00		21	1	0	1	0	0	0	0	
24.11.00		31	1	1	0	1	0	0	0	
02.02.01		70	1	1	0	1	0	0	0	
21.06.01		139	1	1	0	0	0	1	0	
22.06.01		1	1	1	0	0	0	1	0	
06.06.02		349	1	1	0	0	0	1	1	
07.06.02		1	1	1	0	0	0	1	0	
26.11.02		172	1	1	0	0	0	0	0	
11.12.03		380	1	1	0	0	0	0	1	
11.08.04		243	1	0	1	0	0	1	1	
21.04.05		253	1	0	1	0	0	1	1	
10.10.05		172	1	1	1	1	0	0	0	

Neste caso as covariáveis designadas por A e S por não terem variado durante o período em análise não foram consideradas na obtenção de resultados.

Covariáveis associadas aos modos de falha que provocam maus contactos em componentes eléctricos de força e de protecção das celas/quadros eléctricos (MCC's) e *safety switches* das bombas (6) MC de pasta

A	1	Ocorrência durante o funcionamento
	0	Ocorrência após a fase de arranque d(s) equipamento(s)
D	0	Temperatura do componente avariado <
	1	Temperatura do componente avariado >
H	1	Acção curativa de manutenção antes da avaria
	0	Acção detectiva (sensorial ou não) antes da avaria
O	0	Carga/intensidade (corrente) eléctrica <
	1	Carga/intensidade (corrente) eléctrica >
S	0	Ventilação do ar ambiente da cela/sala - Mediocre
	1	Ventilação do ar ambiente da cela/sala - Bom
S1	0	Outono/Inverno
	1	Primavera/Verão
A1	0	Número de manobras/paragens-arranques <
	1	Número de manobras/paragens-arranques >

Anexo IV – Dados observados para as covariáveis dos sensores

Covariáveis para os sensores de PH										
Data	Hora	Tempo	D	K3	F	H	X	Obs	Instrumento	Pedido
11.07.04	09.48		1	1	1	1	1		627	Desencravar
12.07.04		1	1	1	1	1	0		857	Desencravar
21.07.04		9	1	1	0	0	0		857	Desencravar
24.07.04		3	1	1	1	1	1		627	Desencravar
26.07.04		2	1	1	1	1	1		627	Desencravar
28.07.04		2	1	1	1	1	1		627	Desencravar
05.08.04		8	1	1	1	1	0		857	Desencravar
06.08.04		1	1	1	1	1	1		627	Desencravar
07.08.04		1	1	1	1	1	1		627	Desencravar
04.09.04		28	1	1	1	1	1		627	Desencravar
23.09.04		19	0	0	0	1	0		609	Indic errada
24.09.04		1	1	1	1	1	1		627	Indic errada
12.10.04		18	1	1	1	1	1		627	Verificar
13.10.04		1	1	1	1	1	0		857	Verificar
18.10.04		5	0	0	0	0	0		858	Calibrar
19.10.04		1	0	0	0	0	0		608	Calibrar
22.10.04		3	1	1	1	1	0		857	Desencravar
26.10.04		4	1	1	1	1	1		627	Desencravar
27.10.04		1	1	1	1	1	0		857	Desencravar
28.10.04		1	1	1	1	1	1		627	Desencravar
17.11.04		20	1	1	1	1	1		627	Desencravar
24.11.04		7	1	1	1	1	0		857	Desencravar
27.11.04		3	0	0	0	1	0		608	Desencravar
29.11.04		2	1	1	1	1	1		627	Desencravar
30.11.04		1	1	1	1	1	0		857	Desencravar
02.12.04		2	1	1	1	1	0		857	Desencravar
05.12.04		3	1	1	1	1	1		627	Desencravar
07.12.04		2	1	1	1	1	0		857	Desencravar
09.12.04		2	0	0	0	1	0		608	Desencravar
10.12.04		1	1	1	1	1	1		627	Desencravar
13.12.04	08.53	3	1	1	1	1	1		627	Desencravar
15.12.04		2	1	1	1	1	1		627	Desencravar
03.01.05		19	1	1	1	1	0		857	Desencravar
04.01.05		1	1	1	1	1	0		857	Desencravar
07.01.05		3	1	1	1	1	0		857	Desencravar
12.01.05		5	0	0	0	1	0		608	Desencravar
26.01.05		14	0	0	0	0	0		628	
22.02.05		27	1	1	1	1	1		627	Desencravar
07.03.05		13	0	0	0	0	0		858	Desencravar
18.03.05		11	1	1	1	1	1		627	Desencravar
06.04.05		19	1	1	1	1	0		857	Verificar
17.04.05		11	0	0	0	0	0		858	Desencravar
26.04.05		9	0	0	0	1	0		858	
09.05.05		13	1	1	1	1	1		627	Verificar
13.05.05		4	0	0	0	1	0		628	Indic errada
23.05.05		19	0	0	0	0	0		608	
24.05.05		1	0	0	0	0	0		858	Desencravar
29.05.05		5	0	0	0	1	0		628	Calibrar
30.05.05		1	0	0	0	1	0		608	Desencravar
31.05.05		1	1	1	1	1	1		627	Desencravar

07.06.05	7	0	0	0	1	0	608	Indic errada
17.06.05	10	0	0	0	1	0	608	Indic errada

De acordo com os dados atrás apresentados foi o encravamento ou colmatção o principal modo de falha responsável pelos pedidos de intervenção da manutenção.

Modo de falha associado a encravamento ou colmatção do instrumento de medição em linha

K3	Localização	1	Localização torres E's. PH a medir nas E's > (9 a 11)
		0	Localização torres D's. PH a medir nas D's < (2 a 5)
D	Temperatura da pasta	1	Temperatura da pasta nas E's < (70 a 75)
		0	Temperatura da pasta nas D's < (75 a 80)
F	Caudal de filtrado	1	Caudal extracção nas E's < (35 a 50)
		0	Caudal extração nas D's > (60 a 185)
H	Manutenção	1	Acção curativa de manutenção antes da avaria
		0	Acção de manutenção antes da avaria (periodicidades de manutenção de 3 meses)
X	Identificação do instrumento	1	Sensor com mais intervenções – Acções de Manutenção
		0	Restantes sensores

Anexo V – Dados observados para as covariáveis das bombas hidráulicas

		Covariáveis para as bombas de pasta do branqueamento									
Datas das avarias	Tempo	A	B	D	H	I	K2	X	X1	Localização	
13.01.99		1	0	1	0		0	1	1	P062	
09.06.99	147	1	0	0	0		1	0	0	P102	
06.07.99	27	0	1	0	0		0	1	1	P022	
04.01.00	182	1	0	0	1		0	0	1	P082	
19.09.00	258	1	0	0	1		0	1	0	P022	
20.09.00	9	1	1	0	0		1	1	1	P102	
24.01.01	126	1	1	0	0		1	0	0	P102	
09.02.01	16	1	1	0	0		1	1	0	P102	
02.03.01	21	1	0	0	1		0	1	0	P022	
09.03.01	7	0	1	0	0		0	1	1	P041	
26.03.01	17	1	0	0	1		0	0	1	P022	
27.03.01	1	1	0	0	0		1	0	1	P122	
05.04.01	9	1	1	1	0		0	1	1	P022	
13.07.01	99	1	1	0	0		0	1	1	P062	
06.02.02	208	1	1	0	0		0	1	0	P082	
09.05.02	92	0	1	0	1		0	1	0	P022	
29.05.02	20	1	1	0	0		1	1	0	P122	
13.08.02	76	1	1	0	0		0	1	1	P062	
09.10.02	57	1	1	1	0		1	1	1	P122	
29.04.03	202	1	1	0	0		0	1	1	P041	
23.05.03	24	1	1	0	0		1	1	1	P102	
17.06.03	25	1	1	0	0		1	1	1	P102	
14.10.03	119	1	1	0	0		0	1	0	P022	
31.10.03	17	1	0	1	0		0	1	1	P041	
24.11.03	24	1	1	0	0		0	1	1	P041	

06.01.04	43	1	0	0	0	1	1	0	P102
30.07.04	205	1	1	1	0	0	1	1	P022
07.10.04	69	1	1	0	0	1	1	1	P102
22.05.05	227	0	0	0	0	0	0	0	P062

As covariáveis de localização X e X1 foram consideradas por se pensar que a parte estática do equipamento rotativo associada à água de vedação poderia influenciar muitas das avarias extrínsecas que ocorreram nos equipamentos. O factor I correspondente à covariável “valor da produção” no momento imediatamente anterior à avaria foi inicialmente admitido mas não foi considerado devido à(s) bomba(s) estarem concebidas para trabalhar nos diferentes regimes de produção.

Modos de falha associados aos defeitos em rolamentos (lubrificação, desalinhamentos, ...) e em partes estáticas

- A 1 Ocorrência em funcionamento normal
Ocorrência em funcionamento após o arranque d(s)
0 equipamento(s)
Nível de vibração do equipamento < que determinado Valor
- B 0 histórico admissível
Nível de vibração do equipamento > que determinado valor
1 histórico admissível
- D 0 Temperatuta < do equipamento
1 Temperatura > do equipamento
- H 1 Acção curativa de manutenção
0 Acção detectiva (sensorial ou não) antes da avaria
- I Valor da produção de pasta a bombar (carga)
- K2 0 Capacidade da bomba - menor
1 Capacidade da bomba - maior
- X 1 Avaria em parte rotativa (rolamento, acoplamento, ...)
0 Avaria em parte estática (vedante, empanque, ...)
- X1 1 Causas intrínsecas ao equipamento (lubrificação, ...)
0 Causa extrínseca ao equipamento (água de vedação, ...)

Nota explicativa: Na covariável H duas hipóteses se colocaram. Ou a falha e, consequentemente, a avaria não foi detectada pela manutenção e a covariável toma o valor 1 (um) ou se foi detectada pela manutenção tomou, neste caso, o valor 0 (zero).

Anexo VI – Dados observados para as covariáveis dos motores eléctricos

Datas das avarias	Covariáveis p/ motores eléctricos									Acção	Localização	Tempo (dias)
	Hora	A	B	D	H	I	O	P	X			
27.01.99		1	0	1	1		1	0	0	Substituição	P041	
06.07.99		0	0	0	0		1	0	0	Substituição	P102	160
01.09.99		1	0	0	0		1	1	1		P102	63
02.09.99		0	0	1	1		0	1	1		P062	1
01.10.99		1	0	0	0		1	0	0	Substituição	P102	29
05.09.00		0	0	0	1		0	0	0	Substituição	P062	339
19.12.00		1	1	0	0		0	0	0	Substituição	P022	85
23.12.00		1	0	1	0		0	0	1		P022	4
18.07.01		1	1	1	0		1	0	0		P102	207
23.01.02		1	1	0	0		1	0	0	Substituição	P041	189
06.02.02		1	1	0	1		1	1	1		P082	14
08.02.02		1	1	1	1		1	0	0	Substituição	P082	2
09.10.02		1	1	0	0		1	0	1	Substituição	P041	243
25.10.02		1	1	0	0		1	0	0		P102	16
23.06.03		1	1	0	0		1	1	0	Substituição	P102	241
31.10.03		1	0	1	0		1	1	0		P041	130
14.07.04		1	0	1	0		1	1	1	Substituição	P082	256
14.01.05		1	1	0	0		0	0	1	Substituição	P062	184
23.05.05		1	1	0	0		0	1	0	Substituição	P062	129
02.09.00										Censura	P122	

O factor I correspondente à covariável “valor da produção” no momento imediatamente anterior à avaria foi inicialmente admitido mas não foi considerado devidos ao(s) motores(s) estarem concebidas para trabalhar nos diferentes regimes de produção. O significado das covariáveis para o caso dos motores eléctricos é o que se segue.

Modos de falha associados ao desgaste (rolamentos) e degradação do isolamento da bobinagem por aquecimento

A	1	Ocorrência durante a operação
	0	Ocorrência durante arranque do(s) equipamento(s)
B	0	Nível de vibração do equipamento <
	1	Nível de vibração do equipamento >
D	0	Temperatura do equipamento <
	1	Temperatura do equipamento >
H	1	Acção curativa de manutenção após a avaria
	0	Acção detectiva (sensorial ou não) antes da avaria
I		Valor da produção (carga)
O	0	Valor do consumo eléctrico (carga) <
	1	Valor do consumo eléctrico (carga) >
P	0	Sem paragens intrínsecas antes da avaria (arranques)
	1	Com paragens intrínsecas antes da avaria (arranques)
X	0	Avaria mecânica (rolamentos, veio, ventilação)
	1	Avaria eléctrica (rotor/estator) bobinagem

Nota: A P122 foi alterada durante o período

Anexo VII – Dados observados para as covariáveis do transportador de pasta

Covariáveis p/ transportador da pasta (C800)							
Meses	Dias	Intervalos tempo (dias)	Modo de falha	Outros modos de falha			
			Desalinhamento Survival	Variação produção	Cond. rolos	Outros	Variação consist.
Dez-04	31		0	0	1	0	
Jan-05	1	1	1	0	0	1	1
	20	19	1	0	0	1	1
	21	1	1	0	0	1	1
Fev	28						
Março	31						
Abril	16	82	0	0	0	1	0
	19	3	0	0	1	1	0
	29	10	0	0	1	1	0
Maio	2	3	0	0	1	1	0
Junho	3	30	0	1	0	1	1
Julho	7	33	1	1	0	1	1
	11	4	0	1	0	1	0
	17	6	1	1	0	1	1
	18	1	1	1	0		1
Agosto	8	20	1	0	0	1	0
	9	1	1	0	0	1	0
	11	2	1	1	0		1
	16	5	1	1	0		1
	17	1	1	1	0	1	0
Set	12	25	0	1	1		0
	14	2	0	0	0	1	0
	18	4	1	0	0		1
Out	27	39	0	1	1		1
Nov	9	11	1	1	0		1
	14	5	0	1	1		1
Dez	8	24	1	1	0		0
	12	4	1	1	0		1
	18	6	1	1	0		1
	27	9	0	1	1		1
		2					

Anexo VIII – Dados observados para as covariáveis dos cilindros óleo-hidráulicos

Covariáveis p/ cilindros óleo-hidráulicos															
Datas	Hora	Tempo	A	I	J~J1	L	M	N	Z	W	Y	H	K2	V~v	Obs
10.07.04	12.05		1	30	0	0	0	0	1	0	7,9	1	0	0	D11 2
27.07.04	09.55	17	1	31,5	1	1	1	0	1	0	7,5	0	0	0	E12 4
28.07.04	08.35	1	1	63	0	1	0	0	1	1	9,4	0	0	0	E2 4
30.07.04	09.10	2	0	26,5	0	1	1	1	1	0	7,8	0	1	1	D12 3
10.08.04	10.10	11	0	57	0	1	1	1	1	1	10,3	0	1	0	D0 3
13.08.04	04.45	3	1	26,5	0	1	0	0	1	0	8	1	0	1	E12 6
18.08.04	06.50	5	1	62	1	0	1	0	0	1	8,3	0	0	0	D2 2
19.08.04	14.50	1	1	31,5	0	0	1	1	1	0	8,1	0	0	0	D12 6
07.09.04	15.20	20	1	64	0	0	0	0	0	1	10,4	0	1	0	D0 5
20.09.04	10.20	13	1	61	0	1	1	0	1	1	7,8	0	1	0	D2 1

23.09.04	12.55	3	1	61	1	1	1	0	1	1	8,1	0	1	0	E2	5	
27.09.04	12.30	4	1	63	0	0	0	0	0	1	8	0	1	0	D2	3	
22.10.04	11.40	25	1	32,5	0	0	1	1	0	0	8	1	0	0	D11	2	Subst
27.10.04	17.10	5	1	33	0	0	1	0	0	0	8	1	0	1	D12	6	
09.11.04	11.10	13	1	65	1	0	1	1	1	1	8,1	0	0	0	D2	2	Subst
15.11.04	10.45	6	0	24	0	0	0	0	0	0	8	0	0	0	D11	2	
22.12.04	02.30	37	1	32,5	0		1	0	1	0	8,1	1	1	0	E11	?	
02.01.05	13.40	11	1	31,5	0	0	1	0	1	0	7,9	0	0	0	D12	6	
07.01.05	10.55	5	1	65	0	0	0	0	0	1	10,4	1	1	0	D0	5	
09.01.05	18.20	2	1	33	1	0	0	0	1	0	8	1	0	0	D12	6	
27.01.05	09.35	18	1	32	1	0	1	1	0	0	7,9	1	0	0	D11	2	Subst
31.01.05	21.45	4	0	27	0	0	1	0	0	0	8	1	1	1	E12	3	
01.02.05	20.05	1	1	33	0		1	0	1	0	7,9	1	0	1	E12	?	
15.02.05	10.15	14	1	35	0	0	1	0	1	1	10	0	0	1	D0	2	
15.04.05	08.40	60	0	12	0	1	1	0	0	0	7,9	0	1	0	E12	1	
22.04.05	09.40	7	1	63	0	0	0	0	1	1	10	0	1	0	D0	5	
20.06.05	10.10	58	1	60	0	1	0	0	0	1	8,1	0	0	0	D2	4	
07.07.05	13.45	17	0	57	1	0	0	0	1	1	7,9	0	0	0	D2	2	
13.07.05	09.15	6	1	33	0	1	1	0	1	0	8,2	0	1	1	E12	3	
14.07.05	09.15	1	1	33	0	1	1	0	1	0	8,2	0	1	1	E12	5	
08.08.05	10.22	26	1	31,5	0	1	1	1	0	0	7,7	0	0	1	E12	2	Subst
09.08.05	11.27	1	1	31,5	0	1	1	0	0	0	7,8	1	1	0	D11	3	
10.08.05	11.34	1	1	64	0	0	1	0	0	1	9,9	0	0	0	D0	2	
23.08.05	11.37	13	1	60	0	0	1	0	0	1	8	1	1	0	D2	3	
09.09.05	09.23	17	1	29	0	1	1	1	1	0	7,8	0	0	1	D12	4	Subst
04.10.05	11.07	30	0	61	0	1	0	0	0	1	7,9	0	0	0	D2	6	
03.11.05	12.42	31	1	31,5	0	1	0	0	0	0	7,9	0	0	0	E11	2	
14.11.05	10.19	11	0	30	0	1	0	0	0	1	10	0	0	0	D0	6	
15.11.05	09.32	1	1	64	0	1	0	0	0	1	7,9	0	1	0	D2	5	
18.11.05	10.54	3	1	31,5	0	0	1	1	1	0	7,8	0	1	1	E12	3	Subst
14.12.05	13.14	26	1	30	0	0	1	0	0	0	7,8	0	1	1	E12	3	

O significado das covariáveis para os cilindros hidráulico é a seguir apresentado e como nos casos anteriores seguem o critério adoptado na tabela 5.3 da página 270 do subcapítulo 5.2.4.

Modo de falha associado ao desgaste e ao desalinhamento tendo por consequências a falha funcional de vedação e o mau funcionamento do equipamento accionado (crivo)

A	1	Ocorrência em funcionamento normal
	0	Ocorrência em funcionamento após o arranque do(s) equipamento(s)
I		Valor da produção de pasta (carga)
L		Nº de ciclos acumulados (< 600000 - 0; > 600000 - 1)
M		Filtros substituídos antes da avaria. Sim ou não
N		Existe ou não diferencial de pressões nas câmaras do cilindro
W	0	Cilindros com curso de 150 (menor)
	1	Cilindros com curso de 250 (maior - torres E2 e D2)
Z		Indicadores de posição activo (1) e não activo (0)
Y		Consistência da pasta (valor)
H	1	Acção curativa de manutenção
	0	Acção detectiva (visual ou não) de manutenção antes da avaria
K2	0	Localização - cilindro par

	1	Idem - cilindro impar
J~J1	0	Valores afastados entre si
	1	Valores próximos entre si
V~v	0	Valores afastados entre si
	1	Valores próximos entre si
V		Indicador da velocidade ascendente da pasta (caudal/diâmetro)
v		Indicador da velocidade de subida do cilindro/crivo (curso/tempo)
J		Valor do tempo de subida do cilindro
J1		Valor de referência para o tempo de subida
Notas:		
1) Número total de cilindros em serviço 42		
2) O n.º de cilindros com curso de 150 é de 24		
3) O n.º de cilindros com curso de 250 é de 18		
4) O período em análise é de cerca de 1 ano e meio		

Anexo IX – Dados observados para as covariáveis das válvulas automáticas

		Covariáveis p/ as válvulas automáticas												
Data	Tempo	A	B	H	K3	R	S	T	G	Anel	Pedido	Obs	Componente	
14.07.04		1	10	1	1	1	1	1	71	510	Não fecha	Extr	Actuador	
24.07.04	10	1	4	1	0	0	1	1	48	739	Não fecha	Lav	Detector	
25.07.04	1	0	3	1	0	0	1	1	34	865	Não fecha	Lav	Detector	
02.08.04	8	1	3	0	0	1	1	0	100	584	Substituir	C.L.	Válvula	
03.08.04	1	0	3	1	1	1	1	0	100	588	Em alarme	C.L.	Detector	
02.09.04	30	1	15	1	1	1	1	0	100	587	Em alarme	C.L.	Detector	
11.09.04	9	0	21	1	1	0	1	1	33	723	Avaria	Lav	Posicionador	
14.09.04	3	0	7	1	0	0	1	1	55	516	Prisão	Lav	Válvula	
21.09.04	7	0	15	1	1	1	1	0	100	587	Não abre	C.L.	Ligador	
26.09.04	5	1	34	1	1	1	1	1	65	511	Verificar	Extr		
27.09.04	1	1	34	1	1	1	1	1	65	511	Verificar	Extr	Detector	
29.09.04	2	0	34	1	1	1	1	1	65	511	Anomalia	Extr	Detector	
02.10.04	3	1	8	1	0	1	1	1	48	752	Verificar	Extr	Posicionador	
04.10.04	2	1	2	1	1	1	1	0	100	1702	Não fecha	C.L.	Válvula	
10.11.04	37	1	10	1	1	1	0	1	71	510	Em alarme	Extr	Detector	
11.11.04	1	1	3	0	0	1	0	1	46	737	Verificar	Extr	Cabo	
12.11.04	1	0	5	1	0	0	0	1	32	748	Verificar	Lav	Posicionador	
13.11.04	1	0	21	1	1	0	0	1	33	723	Verificar	Lav	Caudal	
23.11.04	10	1	5	1	0	0	0	1	32	748	-	Lav	Conversor	
04.01.05	42	1	10	1	0	0	0	1	30	756	Não abre	Lav	Posicionador	
11.01.05	7	1	11	1	1	0	0	1	30	522	Verificar	Lav	Detector	
12.01.05	1	1	10	1	1	1	0	1	71	510	Não indica	Extr	Posicionador	
14.01.05	2	1	15	1	1	1	0	0	100	587	Não abre	C.L.	Carta	
15.01.05	1	1	10	1	1	1	0	1	71	510	Verificar	Extr	Posicionador	
16.01.05	1	1	10	1	1	1	0	1	71	510	Verificar	Extr	Posicionador	
20.01.05	4	0	21	1	1	0	0	1	33	723	Não indica	Lav	Posicionador	
24.02.05	35	1	11	0	1	0	0	1	30	522	-	Lav	Suporte	
25.02.05	1	0	4	1	0	1	0	1	45	507	Avaria	Extr		
07.03.05	10	1	4	1	0	1	1	1	45	507	Não abre	Extr	Tubo ar	
14.03.05	7	1	3	1	0	1	1	1	46	737	Não funciona	Extr	Ligador	
25.03.05	11	0	4	0	0	1	1	1	45	507	Caudal irreg.	Extr		
30.03.05	5	0	10	1	1	1	1	1	71	510	Verificar	Extr	Detector	
31.03.05	1	1	3	1	0	1	1	1	46	737	Verificar	Extr	Acessório	
17.04.05	17	0	11	1	1	0	1	1	30	522	Não abre	Lav	Posicionador	

12.05.05	35	1	3	0	0	1	1	0	100	584	Reapertar	C.L.	Bucim
24.05.05	12	1	8	1	0	1	1	1	48	752	Calibrar	Extr	Acessório
14.06.05	21	1	5	1	0	0	1	1	32	748	Verificar	Lav	PIDP
15.06.05	1	1	12	0	0	0	1	1	32	867	Verificar	Lav	PIDP
16.06.05	1	1	2	1	0	1	1	0	100	1706	Em alarme	C.L.	Detector

No anexo IX atrás apresentado para além das covariáveis consideradas apresenta também o tipo de pedido feito pelo operador da produção acerca da ocorrência da anomalia. Em seguida apresenta-se o significado de cada uma das covariáveis consideradas.

Modos de falha associados ao choque/vibração e falhas de alimentação electro-pneumática

A	Estado de funcionamento	1 Ocorrência em regime normal de produção 0 Ocorrência após a fase de arranque do(s) equipamento(s)
B	Nível de vibração	Valor médio medido (rms) no equipamento em mm/s
H	Manutenção	1 Acção curativa de manutenção 0 Acção detectiva antes da avaria (periodicidade de inspecção - mensal)
T	Modo de funcionamento	0 Válvula on-off 1 Válvula de controlo
k3	Localização	0 Torres de menor produção 1 Torres de maior produção (D0, E2, D2)
R	Número de ciclos	1 Elevado número de ciclos por unidade de tempo 0 Reduzido número ciclos por unidade de tempo
S	Qualidade do ar instrumentos	0 Mediocre 1 Bom
G	% de abertura	Funcionamento on-off (abertura 100%) Com variação de abertura da válvula (valor)

Anexo X - Análise de sobrevivência das tubagens da lavagem da pasta

Os resultados da análise de sobrevivência efectuada através da regressão semi-paramétrica de Cox foram obtidos através *do software* de Pezzullo (versão de 2005) disponível em <http://satatpages.org/prophaz>. Os dados das covariáveis consideradas relevantes e independentes referem-se à amostra das avarias verificadas na área do branqueamento referidas na página 277 do subcapítulo 5.2.7.1 e no Anexo II.

1 - Dados iniciais

0,18,1,70,4,18,1,1,1,40,4,1
0,40,0,68,4,105,1,0,1,35,2,1
1,6,0,47,4,135,0,1,0,60,28,1
0,21,1,74,4,25,1,1,1,30,2,1
0,13,1,70,3,18,1,1,1,40,2,1
1,20,0,68,4,105,1,0,0,35,35,1
0,9,1,91,4,18,1,0,1,40,4,1
0,9,1,91,3,18,1,0,1,40,13,1
0,9,1,91,4,23,1,0,0,45,36,1
1,5,1,91,5,18,1,0,0,40,63,1
1,10,1,74,4,25,1,1,0,30,69,1
0,21,1,74,4,25,1,1,1,30,10,1
0,40,0,74,4,25,1,0,0,20,14,1
0,9,1,91,4,18,1,0,1,40,8,1
0,7,1,94,3,18,1,0,1,40,1,1
0,4,1,94,5,18,1,0,0,40,10,1
1,20,0,68,4,105,1,0,0,35,10,1
0,40,0,68,4,105,1,0,1,35,8,1
0,22,1,91,5,18,1,0,1,20,25,1
0,7,1,94,4,18,1,0,0,40,14,1
1,20,0,68,4,105,1,0,0,35,12,1
0,10,0,47,4,135,0,1,0,60,10,1

Resultados

Descriptive Stats...

Variable	Avg	SD
1	0.2727	0.4454
2	16.3636	11.0105
3	0.6364	0.4810
4	77.1818	14.1120
5	4.0000	0.5222
6	49.9091	44.2328
7	0.9091	0.2875
8	0.3182	0.4658
9	0.5000	0.5000
10	37.7273	9.3817

Iteration History...

-2 Log Likelihood = 98.6894 (Null Model)

-2 Log Likelihood = 71.5744
 -2 Log Likelihood = 66.4090
 -2 Log Likelihood = 65.7766
 -2 Log Likelihood = 65.7589
 -2 Log Likelihood = 65.7589 (Converged)

Overall Model Fit...

Chi Square= 32.9305; df=10; p= 0.0003

Coefficients, Standard Errors, Significance, and 95% Confidence Intervals

Var	Coeff.	StdErr	p	Lo95%	Hi95%
1 (A)	-5.0196	1.9386	0.0096	-8.8192	-1.2200
2 (B)	-0.3821	0.1404	0.0065	-0.6574	-0.1069
3 (C)	-24.1421	8.8396	0.0063	-41.4677	-6.8165
4 (D)	0.4124	0.2878	0.1519	-0.1517	0.9765
5 (E)	2.0812	0.9045	0.0214	0.3083	3.8541
6 (F)	-0.0276	0.0245	0.2599	-0.0755	0.0204
7 (K1)	11.1754	3.7264	0.0027	3.8715	18.4792
8 (K)	11.8452	5.9945	0.0482	0.0959	23.5944
9 (H)	6.7977	2.0216	0.0008	2.8353	10.7601
10 (G)	0.1075	0.0954	0.2596	-0.0794	0.2944

Hazard ratios and 95% Confidence Intervals

Var	Hazard Ratio	Lo95%	Hi95%
1	0.0066	0.0001	0.2952
2	0.6824	0.5182	0.8986
3	0.0000	0.0000	0.0011
4	1.5105	0.8593	2.6551
5	8.0142	1.3612	47.1855
6	0.9728	0.9272	1.0206
7	71351.4132	48.016127363.9229	
8	39410.5896	1.100791371.9849	
9	895.7873	17.035247104.3809	
10	1.1135	0.9237	1.3424

Baseline Survivor Function (at predictor means)...

1.0000	0.9919
2.0000	0.9665
4.0000	0.9433
8.0000	0.9067
10.0000	0.7203
12.0000	0.5343
13.0000	0.3173
14.0000	0.0449
25.0000	0.0047
28.0000	0.0002
35.0000	0.0000

Das covariáveis consideradas mais significativas para as tubagens da lavagem da pasta para papel da área do branqueamento, sem dados censurados, destacam-se a “temperatura” a que o material está sujeito (variável 9 ou H) e o “comprimento da tubagem/altura manométrica” (variável 7 ou K1). São ainda muito significativas as variáveis “nível de vibração” e “estado da tubagem” (variáveis 2 ou B e 3 ou C).

Finalmente, é também muito significativa na ocorrência das avarias correspondentes aos modos de falha das tubagens em análise o “modo de operação durante o arranque” (variável 1 ou A) que se verificada após uma paragem total ou parcial dos equipamentos da área fabril. De acordo com os resultados obtidos o risco de avaria nas tubagens sujeitas às condições contínuas impostas pelos dados usados (obtidos) aumenta significativamente a partir do 8.º dia e depois do 12.º dia de funcionamento.

2 – Com dados censurados

Consideram-se agora as linhas 9.^a e 19.^a como censuradas (0) por corresponderem a duas situações com bastantes tempo de sobrevivência, respectivamente, de 36 e 25 dias, onde antes das avarias ocorreram paragens e consequentes arranques dos equipamentos.

0,18,1,70,4,18,1,1,1,40,4,1
 0,40,0,68,4,105,1,0,1,35,2,1
 1,6,0,47,4,135,0,1,0,60,28,1
 0,21,1,74,4,25,1,1,1,30,2,1
 0,13,1,70,3,18,1,1,1,40,2,1
 1,20,0,68,4,105,1,0,0,35,35,1
 0,9,1,91,4,18,1,0,1,40,4,1
 0,9,1,91,3,18,1,0,1,40,13,1
 0,9,1,91,4,23,1,0,0,45,36,0
 1,5,1,91,5,18,1,0,0,40,63,1
 1,10,1,74,4,25,1,1,0,30,69,1
 0,21,1,74,4,25,1,1,1,30,10,1
 0,40,0,74,4,25,1,0,0,20,14,1
 0,9,1,91,4,18,1,0,1,40,8,1
 0,7,1,94,3,18,1,0,1,40,1,1
 0,4,1,94,5,18,1,0,0,40,10,1
 1,20,0,68,4,105,1,0,0,35,10,1
 0,40,0,68,4,105,1,0,1,35,8,1
 0,22,1,91,5,18,1,0,1,20,25,0
 0,7,1,94,4,18,1,0,0,40,14,1
 1,20,0,68,4,105,1,0,0,35,12,1
 0,10,0,47,4,135,0,1,0,60,10,1

Resultados

Descriptive Stats...

Variable	Avg	SD
1	0.2727	0.4454
2	16.3636	11.0105
3	0.6364	0.4810
4	77.1818	14.1120
5	4.0000	0.5222
6	49.9091	44.2328
7	0.9091	0.2875
8	0.3182	0.4658
9	0.5000	0.5000
10	37.7273	9.3817

Iteration History...

-2 Log Likelihood = 92.9087 (Null Model)
 -2 Log Likelihood = 65.9594
 -2 Log Likelihood = 60.0673
 -2 Log Likelihood = 57.0892
 -2 Log Likelihood = 56.4011
 -2 Log Likelihood = 56.3868
 -2 Log Likelihood = 56.3868 (Converged)

Overall Model Fit...

Chi Square= 36.5219; df=10; p= 0.0001

Coefficients, Standard Errors, Significance, and 95% Confidence Intervals

Var	Coeff.	StdErr	p	Lo95%	Hi95%
1 (A)	-3.8194	2.2011	0.0827	-8.1334	0.4947
2 (B)	-0.4802	0.1922	0.0125	-0.8570	-0.1035
3 (C)	-59.7267	20.4675	0.0035	-99.8430	-19.6104
4 (D)	1.5185	0.6012	0.0115	0.3402	2.6968
5 (E)	2.0735	0.9940	0.0370	0.1253	4.0217
6 (F)	-0.0736	0.0344	0.0323	-0.1410	-0.0062
7 (K1)	24.7547	8.0061	0.0020	9.0627	40.4467
8 (K)	36.9072	13.6492	0.0069	10.1548	63.6597
9 (H)	10.0343	3.1091	0.0012	3.9405	16.1281
10 (G)	0.6057	0.2523	0.0163	0.1113	1.1002

Hazard ratios and 95% Confidence Intervals

Var	Hazard Ratio	Lo95%	Hi95%
1	0.0219	0.0003	1.6400
2	0.6186	0.4244	0.9017
3	0.0000	0.0000	0.0000
4	4.5654	1.4052	14.8329
5	7.9523	1.1335	55.7937
6	0.9291	0.8685	0.9938
7	01631.9450	8627.3404	
8	25715.1233	4.4364	
9	22795.3531	51.4444	00763.3304
10	1.8326	1.1177	3.0048

Baseline Survivor Function (at predictor means)...

1.0000	0.9981
2.0000	0.9862
4.0000	0.9729
8.0000	0.9491
10.0000	0.7985
12.0000	0.6493
13.0000	0.4646
14.0000	0.1544
28.0000	0.0397
35.0000	0.0000

As variáveis muito significativas são agora o “estado da tubagem” (condição), o “material” da tubagem, a “pressão/altura manométrica” e, finalmente, o tipo de “ações de manutenção”.

3 – Com correcção de dados recolhidos

Corrigindo a situação da linha 19.^a no que diz respeito à covariável K de zero para um.

0,18,1,70,4,18,1,1,1,40,4,1
0,40,0,68,4,105,1,0,1,35,2,1
1,6,0,47,4,135,0,1,0,60,28,1
0,21,1,74,4,25,1,1,1,30,2,1
0,13,1,70,3,18,1,1,1,40,2,1
1,20,0,68,4,105,1,0,0,35,35,1
0,9,1,91,4,18,1,0,1,40,4,1
0,9,1,91,3,18,1,0,1,40,13,1
0,9,1,91,4,23,1,0,0,45,36,1
1,5,1,91,5,18,1,0,0,40,63,1
1,10,1,74,4,25,1,1,0,30,69,1
0,21,1,74,4,25,1,1,1,30,10,1
0,40,0,74,4,25,1,0,0,20,14,1
0,9,1,91,4,18,1,0,1,40,8,1
0,7,1,94,3,18,1,0,1,40,1,1
0,4,1,94,5,18,1,0,0,40,10,1
1,20,0,68,4,105,1,0,0,35,10,1
0,40,0,68,4,105,1,0,1,35,8,1
0,22,1,91,5,18,1,1,1,20,25,1
0,7,1,94,4,18,1,0,0,40,14,1
1,20,0,68,4,105,1,0,0,35,12,1
0,10,0,47,4,135,0,1,0,60,10,1

Resultados

Descriptive Stats...

Variable	Avg	SD
1	0.2727	0.4454
2	16.3636	11.0105
3	0.6364	0.4810
4	77.1818	14.1120
5	4.0000	0.5222
6	49.9091	44.2328
7	0.9091	0.2875
8	0.3636	0.4810
9	0.5000	0.5000
10	37.7273	9.3817

Iteration History...

-2 Log Likelihood = 98.6894 (Null Model)
-2 Log Likelihood = 75.4206
-2 Log Likelihood = 70.5273
-2 Log Likelihood = 70.2237
-2 Log Likelihood = 70.2203
-2 Log Likelihood = 70.2203 (Converged)

Overall Model Fit...

Chi Square= 28.4692; df=10; p= 0.0015

Coefficients, Standard Errors, Significance, and 95% Confidence Intervals

Var	Coeff.	StdErr	p	Lo95%	Hi95%
1 (A)	-4.6503	1.8378	0.0114	-8.2523	-1.0483
2 (B)	-0.3038	0.1189	0.0106	-0.5368	-0.0708
3	-8.8747	6.5571	0.1759	-21.7267	3.9772
4	-0.1607	0.1656	0.3320	-0.4853	0.1640
5	1.5038	0.8133	0.0645	-0.0903	3.0980
6	-0.0358	0.0291	0.2181	-0.0927	0.0212
7 (K1)	8.4829	4.3138	0.0492	0.0279	16.9379
8	-0.1599	3.6039	0.9646	-7.2235	6.9037
9 (H)	4.5303	1.3995	0.0012	1.7873	7.2733
10	0.0262	0.1548	0.8657	-0.2772	0.3295

Hazard ratios and 95% Confidence Intervals

Var	Hazard Ratio	Lo95%	Hi95%
1	0.0096	0.0003	0.3505
2	0.7380	0.5846	0.9317
3	0.0001	0.0000	53.3675
4	0.8516	0.6155	1.1782
5	4.4989	0.9137	22.1531
6	0.9648	0.9114	1.0214
7	4831.5916	1.028301	244.7806
8	0.8522	0.0007	996.0009
9	92.7864	5.9733	1441.2910
10	1.0265	0.7579	1.3903

Baseline Survivor Function (at predictor means)...

1.0000	0.9889
2.0000	0.9559
4.0000	0.9243
8.0000	0.8680
10.0000	0.6165
12.0000	0.4878
13.0000	0.3380
14.0000	0.1057
25.0000	0.0337
28.0000	0.0066
35.0000	0.0002
36.0000	0.0000

Neste caso volta a surgir como significativa a covariável que caracteriza as situações da ocorrência das avarias que ocorreram “após um arranque do equipamento”. Esta variável é significativa pois na realidade operacional foi validado por se verificar na prática que muitas das avarias ocorrerem e ainda ocorrem em situações de funcionamento mas após o arranque dos equipamentos.

Anexo XI – Análise de sobrevivência das celas eléctricas

Os resultados da análise de sobrevivência efectuada através da regressão semi-paramétrica de Cox foram obtidos através *do software* de Pezzullo (versão de 2005) disponível em <http://satatpages.org/prophaz>. Os dados das covariáveis consideradas relevantes e independentes referem-se à amostra das avarias verificadas na área do branqueamento referidas na página 278 do subcapítulo 5.2.7.1 e no Anexo III. Os dados dizem respeito às celas (arrancadores) de alimentação de força e de comando dos motores eléctricos do accionamento das bombas de pasta a média consistência.

1 – Dados iniciais

0,0,0,0,1,0,217,1
0,1,0,0,1,1,408,1
0,0,1,1,0,0,21,1
1,0,1,1,0,0,31,1
1,0,1,1,0,0,70,1
1,0,0,0,0,0,139,1
1,0,1,0,0,0,1,1
1,1,0,0,0,1,349,1
1,0,1,0,0,0,1,1
1,1,0,1,0,0,172,1
1,1,0,1,0,1,380,1
0,1,0,0,1,1,243,1
0,1,0,1,0,1,253,1
1,0,0,1,0,0,172,1

Resultados

Descriptive Stats...

Variable	Avg	SD
1	0.6429	0.4792
2	0.4286	0.4949
3	0.3571	0.4792
4	0.5000	0.5000
5	0.2143	0.4103
6	0.3571	0.4792

Iteration History...

-2 Log Likelihood = 50.7977 (Null Model)
-2 Log Likelihood = 27.4081
-2 Log Likelihood = 22.5402
-2 Log Likelihood = 21.0948
-2 Log Likelihood = 20.7011
-2 Log Likelihood = 20.5761
-2 Log Likelihood = 20.5315
-2 Log Likelihood = 20.5152
-2 Log Likelihood = 20.5092
-2 Log Likelihood = 20.5071

-2 Log Likelihood = 20.5062
 -2 Log Likelihood = 20.5059
 -2 Log Likelihood = 20.5058
 -2 Log Likelihood = 20.5058 (Converged)

Overall Model Fit...

Chi Square= 30.2919; df=6; p= 0.0000

Coefficients, Standard Errors, Significance, and 95% Confidence Intervals

Var	Coeff.	StdErr	p	Lo95%	Hi95%
1	-1.8676	1.3216	0.1576	-4.4580	0.7228
2	0.2518	1.3851	0.8558	-2.4631	2.9666
3	16.5781	538.4910	0.9754	-1038.8642	1072.0204
4	-2.1950	1.2177	0.0715	-4.5818	0.1918
5 (S1)	-4.5750	2.3211	0.0487	-9.1244	-0.0257
6	-16.7250	348.5847	0.9617	-699.9511	666.5010

Hazard ratios and 95% Confidence Intervals

Var	Hazard Ratio	Lo95%	Hi95%
1	0.1545	0.0116	2.0601
2	1.2863	0.0852	19.4259
3	40541.7907	0.0000	
4	0.1114	0.0102	1.2114
5	0.0103	0.0001	0.9746
6	0.0000	0.0000	2.8688

Baseline Survivor Function (at predictor means)...

1.0000	1.0000
21.0000	1.0000
31.0000	1.0000
70.0000	1.0000
139.0000	0.6945
172.0000	0.1395
217.0000	0.0000

A covariável mais significativa tem relação com as “estações do ano” (verão) associando-se por isso à temperatura ambiente.

2 – Com correcção de dados recolhidos

0,0,0,0,1,0,217,1
 0,0,1,0,1,1,408,1
 1,0,1,1,0,0,21,1
 0,0,0,1,0,0,31,1
 1,0,1,1,0,1,70,1
 1,1,0,0,0,1,139,1
 0,0,0,0,0,0,1,1
 1,1,0,0,0,1,349,1
 0,0,1,0,0,0,1,1
 1,1,0,1,0,1,172,1
 1,1,0,1,0,1,380,1
 0,0,0,0,1,1,243,1
 0,0,0,1,0,1,253,1

1,1,1,1,0,0,172,1

Resultados

Descriptive Stats...

Variable	Avg	SD
1	0.5000	0.5000
2	0.3571	0.4792
3	0.3571	0.4792
4	0.5000	0.5000
5	0.2143	0.4103
6	0.5714	0.4949

Iteration History...

-2 Log Likelihood = 50.7977 (Null Model)
-2 Log Likelihood = 33.8025
-2 Log Likelihood = 32.5320
-2 Log Likelihood = 32.4679
-2 Log Likelihood = 32.4675
-2 Log Likelihood = 32.4675 (Converged)

Overall Model Fit...

Chi Square= 18.3302; df=6; p= 0.0055

Coefficients, Standard Errors, Significance, and 95% Confidence Intervals

Var	Coeff.	StdErr	p	Lo95%	Hi95%
1	2.0534	1.3600	0.1311	-0.6121	4.7190
2 (H)	-4.0680	1.7315	0.0188	-7.4618	-0.6742
3	-0.4381	0.8910	0.6229	-2.1845	1.3082
4	-1.9037	1.0306	0.0647	-3.9237	0.1164
5 (S1)	-4.4003	1.7865	0.0138	-7.9018	-0.8987
6 (A1)	-2.9578	1.1082	0.0076	-5.1298	-0.7857

Hazard ratios and 95% Confidence Intervals

Var	Hazard Ratio	Lo95%	Hi95%
1	7.7946	0.5422	112.0557
2	0.0171	0.0006	0.5096
3	0.6452	0.1125	3.6996
4	0.1490	0.0198	1.1234
5	0.0123	0.0004	0.4071
6	0.0519	0.0059	0.4558

Baseline Survivor Function (at predictor means)...

1.0000	0.9883
21.0000	0.9596
31.0000	0.8662
70.0000	0.6883
139.0000	0.4925
172.0000	0.2391
217.0000	0.1195
243.0000	0.0465
253.0000	0.0125
349.0000	0.0002
380.0000	0.0000

As variáveis agora encontradas como mais significativas são “o tipo de acção de manutenção” e o “número de manobras” (arranques/paragens) para além da variável anteriormente identificada ou sejam as “estações do ano”.

Anexo XII – Análise de sobrevivência dos sensores em linha

Os resultados da análise de sobrevivência efectuada através da regressão semi-paramétrica de Cox foram obtidos através *do software* de Pezzullo (versão de 2005) disponível em <http://satatpages.org/prophaz>. Os dados das covariáveis consideradas relevantes e independentes referem-se à amostra das avarias verificadas na área do branqueamento referidas na página 278 do subcapítulo 5.2.7.1 e no Anexo IV.

10 – Dados iniciais corrigidos e(ou) censurados

1,1,1,1,0,1,1
1,1,0,0,0,9,1
1,1,1,1,1,3,1
1,1,1,1,1,2,1
1,1,1,1,1,2,1
1,1,1,1,0,8,1
1,1,1,1,1,1,1
1,1,1,1,1,1,1
1,1,1,1,1,28,1
0,0,0,1,0,19,0
1,1,1,1,1,1,0
1,1,1,1,1,18,0
1,1,1,1,0,1,0
0,0,0,0,0,5,0
0,0,0,0,0,1,0
1,1,1,1,0,3,1
1,1,1,1,1,4,1
1,1,1,1,0,1,1
1,1,1,1,1,1,1
1,1,1,1,1,20,1
1,1,1,1,0,7,1
0,0,0,1,0,3,1
1,1,1,1,1,2,1
1,1,1,1,0,1,1
1,1,1,1,0,2,1
1,1,1,1,1,3,1
1,1,1,1,0,2,1
0,0,0,1,0,2,1
1,1,1,1,1,1,1
1,1,1,1,1,3,1
1,1,1,1,1,2,1
1,1,1,1,0,19,1
1,1,1,1,0,1,1
1,1,1,1,0,3,1
0,0,0,1,0,5,1
0,0,0,0,0,14,1
1,1,1,1,1,27,1
0,0,0,0,0,13,1
1,1,1,1,1,11,1
1,1,1,1,0,19,0
0,0,0,0,0,11,1
0,0,0,1,0,9,1
1,1,1,1,1,13,0

0,0,0,1,0,4,0
0,0,0,0,0,19,1
0,0,0,0,0,1,1
0,0,0,1,0,5,0
0,0,0,1,0,1,1
1,1,1,1,1,1,1
0,0,0,1,0,7,0
0,0,0,1,0,10,0

O método nunca convergiu para a falha funcional identificada pelo erro da medida mesmo depois de corrigidos e censurados alguns dados iniciais. No entanto são validados os pedidos efectuados pelos utilizadores dos equipamentos, a produção, cujas notificações das avarias observadas no Anexo IV se centram nos pedidos de “desencravamento” do elemento primário. Assim, apenas se conclui com os dados obtidos que não existe avaria do equipamento mas sim a necessidade periódica de limpeza dos sensores (elementos primários).

Anexo XIII – Análise de sobrevivência dos cilindros óleo-hidráulicos dos lavadores de pasta

Os resultados da análise de sobrevivência efectuada através da regressão semi-paramétrica de Cox foram obtidos através *do software* de Pezzullo (versão de 2005) disponível em <http://satatpages.org/prophaz>. Os dados das covariáveis consideradas relevantes e independentes referem-se à amostra das avarias verificadas na área do branqueamento referidas na página 281 do subcapítulo 5.2.7.3 e no Anexo VIII.

1 – Dados iniciais (de 10.07.04 a 13.07.05)

1,30,0,0,0,0,1,0,8,1,0,0,20,1
 1,32,1,1,1,0,1,0,8,0,0,0,17,1
 1,63,0,1,0,0,1,1,9,0,0,0,1,1
 0,27,0,1,1,1,1,0,8,0,1,1,2,1
 0,57,0,1,1,1,1,1,10,0,1,0,11,1
 1,27,0,1,0,0,1,0,8,1,0,1,3,1
 1,62,1,0,1,0,0,1,8,0,0,0,5,1
 1,32,0,0,1,1,1,0,8,0,0,0,1,1
 0,64,0,0,0,0,0,1,10,0,1,0,20,1
 1,61,0,1,1,0,1,1,8,0,1,0,1,1
 1,61,1,1,1,0,1,1,8,0,1,0,3,1
 1,63,0,0,0,0,0,1,8,0,1,0,4,1
 1,33,0,0,1,1,0,0,8,1,0,0,25,1
 1,33,0,0,1,0,0,0,8,1,0,1,5,1
 1,65,1,0,1,1,1,1,8,0,0,0,13,1
 0,24,0,0,0,0,0,0,8,0,0,0,6,1
 1,33,0,1,1,0,1,0,8,1,1,0,37,1
 1,32,0,0,1,0,1,0,8,0,0,0,11,1
 1,65,0,0,0,0,0,1,10,1,1,0,5,1
 1,33,1,0,0,0,1,0,8,1,0,0,2,1
 1,32,1,0,1,1,0,0,8,1,0,0,18,1
 0,27,0,0,1,0,0,0,8,1,1,1,4,1
 1,33,0,1,1,0,1,0,8,1,0,1,1,1
 0,35,0,0,1,0,1,1,10,0,0,1,14,1
 0,12,0,1,1,0,0,0,8,0,1,0,60,1
 1,63,0,0,0,0,1,1,10,0,1,0,7,1
 1,60,0,1,0,0,0,1,8,0,0,0,58,1
 0,57,1,0,0,0,1,1,8,0,0,0,17,1
 1,33,0,1,1,0,1,0,8,0,1,1,6,1

Resultados

Descriptive Stats...

Variable	Avg	SD
1	0.7241	0.4469
2	43.0690	16.3009
3	0.2414	0.4279
4	0.4138	0.4925
5	0.6207	0.4852
6	0.2069	0.4051
7	0.6207	0.4852

8	0.4483	0.4973
9	8.3793	0.7617
10	0.3448	0.4753
11	0.4138	0.4925
12	0.2414	0.4279

Iteration History...

-2 Log Likelihood = 144.4337 (Null Model)
-2 Log Likelihood = 133.4237
-2 Log Likelihood = 130.4830
-2 Log Likelihood = 130.4172
-2 Log Likelihood = 130.4170
-2 Log Likelihood = 130.4170 (Converged)

Overall Model Fit...

Chi Square= 14.0166; df=12; p= 0.2996

Coefficients, Standard Errors, Significance, and 95% Confidence Intervals

Var	Coeff.	StdErr	p	Lo95%	Hi95%
1	0.1810	0.7553	0.8106	-1.2993	1.6613
2	0.0703	0.0533	0.1870	-0.0342	0.1748
3	0.2862	0.7595	0.7063	-1.2024	1.7749
4	-0.5300	0.5944	0.3727	-1.6951	0.6352
5	-0.1818	0.6687	0.7857	-1.4924	1.1288
6	0.1996	0.6568	0.7612	-1.0877	1.4868
7	0.7755	0.4968	0.1185	-0.1982	1.7492
8	-1.7604	1.6948	0.2989	-5.0822	1.5614
9	0.0292	0.4436	0.9474	-0.8402	0.8987
10	-0.1447	0.6311	0.8186	-1.3818	1.0923
11	0.1300	0.6926	0.8511	-1.2275	1.4875
12 (V~v)	1.9269	0.6871	0.0050	0.5803	3.2735

Hazard ratios and 95% Confidence Intervals

Var	Hazard Ratio	Lo95%	Hi95%
1	1.1984	0.2727	5.2663
2	1.0729	0.9664	1.1910
3	1.3314	0.3005	5.8997
4	0.5886	0.1836	1.8873
5	0.8337	0.2248	3.0918
6	1.2209	0.3370	4.4229
7	2.1716	0.8202	5.7500
8	0.1720	0.0062	4.7656
9	1.0297	0.4316	2.4564
10	0.8652	0.2511	2.9811
11	1.1389	0.2930	4.4262
12	6.8681	1.7865	26.4041

Baseline Survivor Function (at predictor means)...

1.0000	0.9035
2.0000	0.8504
3.0000	0.7930
4.0000	0.7316
5.0000	0.6395
6.0000	0.5717
7.0000	0.5261
11.0000	0.4390

13.0000	0.3880
14.0000	0.3306
17.0000	0.2324
18.0000	0.1736
20.0000	0.0918
25.0000	0.0405
37.0000	0.0091
58.0000	0.0000

A variável mais significativa é a relação entre a “velocidade da pasta e a velocidade do cilindro” ($V \sim v$).

2 – Com correcção de dados recolhidos (J-J1 com V-v) e sem N, Z e K2

1,30,1,0,0,0,8,1,0,20,1
1,32,1,1,1,0,7,0,0,17,1
1,63,0,1,0,1,10,0,0,1,1
0,27,0,1,1,0,8,0,1,2,1
0,57,0,1,1,1,10,0,0,11,1
1,27,0,1,0,0,8,1,1,3,1
1,62,1,0,1,1,8,0,0,5,1
1,32,0,0,1,0,8,0,0,1,1
1,64,1,0,0,1,11,0,0,20,1
1,61,0,1,1,1,8,0,0,13,1
1,61,1,1,1,1,8,0,1,3,1
1,63,0,0,0,1,8,0,1,4,1
1,33,0,0,1,0,8,1,0,25,1
1,33,0,0,1,0,8,1,1,5,1
1,65,1,0,1,1,8,0,0,13,1
0,24,0,0,0,0,8,0,0,6,1
1,33,0,1,1,0,8,1,0,37,1
1,32,0,0,1,0,8,0,0,11,1
1,65,0,0,0,1,11,1,0,5,1
1,33,1,0,0,0,8,1,1,2,1
1,32,1,0,1,0,8,1,0,18,1
0,27,0,0,1,0,8,1,1,4,1
1,33,0,1,1,0,8,1,1,1,1
1,35,0,0,1,1,10,0,1,14,1
0,12,1,1,1,0,8,0,0,60,1
1,63,0,0,0,1,10,0,0,7,1
1,60,1,1,0,1,8,0,0,58,1
0,57,1,0,0,1,8,0,0,17,1
1,33,0,1,1,0,8,0,1,6,1
1,33,0,1,1,0,8,0,1,1,1
1,32,1,1,1,0,7,0,1,26,1
1,32,0,1,1,0,8,1,1,1,1
1,64,0,0,1,1,10,0,1,1,1
1,60,0,0,1,1,8,1,0,13,1
1,29,1,1,1,0,8,0,1,17,1
0,61,1,1,0,1,8,0,0,30,1
1,32,1,1,0,0,8,0,0,31,1
0,30,0,1,0,1,10,0,0,11,1
1,64,0,1,0,1,8,0,1,1,1
1,32,0,0,1,0,8,0,1,3,1
1,30,1,0,1,0,8,0,0,26,1

Resultados

Descriptive Stats...

Variable	Avg	SD
1	0.8049	0.3963
2	42.6341	15.8603
3	0.3902	0.4878
4	0.4878	0.4999
5	0.6341	0.4817
6	0.4390	0.4963
7	8.3902	0.9596
8	0.2927	0.4550
9	0.4146	0.4927

Iteration History...

-2 Log Likelihood = 231.4118 (Null Model)
-2 Log Likelihood = 199.5452
-2 Log Likelihood = 198.4027
-2 Log Likelihood = 198.3954
-2 Log Likelihood = 198.3954 (Converged)

Overall Model Fit...

Chi Square= 33.0164; df=9; p= 0.0001

Coefficients, Standard Errors, Significance, and 95% Confidence Intervals

Var	Coeff.	StdErr	p	Lo95%	Hi95%
1	-0.6438	0.4893	0.1883	-1.6028	0.3153
2 (I)	0.0742	0.0303	0.0142	0.0149	0.1335
3 (J-J1)	-1.4940	0.4888	0.0022	-2.4520	-0.5359
4	-0.5615	0.4018	0.1622	-1.3490	0.2260
5	-0.3484	0.4677	0.4564	-1.2651	0.5684
6	-2.0768	1.0207	0.0419	-4.0774	-0.0763
7	0.1696	0.2161	0.4325	-0.2539	0.5930
8	-0.3388	0.4753	0.4760	-1.2704	0.5929
9 (V~v)	1.8057	0.4747	0.0001	0.8753	2.7362

Hazard ratios and 95% Confidence Intervals

Var	Hazard Ratio	Lo95%	Hi95%
1	0.5253	0.2013	1.3706
2	1.0770	1.0150	1.1429
3	0.2245	0.0861	0.5852
4	0.5704	0.2595	1.2535
5	0.7058	0.2822	1.7654
6	0.1253	0.0170	0.9266
7	1.1848	0.7758	1.8095
8	0.7126	0.2807	1.8092
9	6.0844	2.3995	15.4282

Baseline Survivor Function (at predictor means)...

1.0000	0.9234
2.0000	0.8922
3.0000	0.8422
4.0000	0.8036
5.0000	0.7158
6.0000	0.6424

7.0000	0.5907
11.0000	0.4461
13.0000	0.3096
14.0000	0.2608
17.0000	0.1463
18.0000	0.1130
20.0000	0.0667
25.0000	0.0445
26.0000	0.0172
30.0000	0.0066
31.0000	0.0018
37.0000	0.0002
58.0000	0.0000

As covariáveis significativas são as “variações” mais ou menos rápidas da produção; o *set-point* imposto pelo operador para o “tempo de subida” do cilindro e, também, a relação das “velocidades da subida da pasta nas torres e a velocidade do(s) cilindro(s) óleo-hidráulico(s)”.

Anexo XIV – Análise de sobrevivência das válvulas automáticas (válvula, actuador e posicionador)

Os resultados da análise de sobrevivência efectuada através da regressão semi-paramétrica de Cox foram obtidos através *do software* de Pezzullo (versão de 2005) disponível em <http://satatpages.org/prophaz>. Os dados das covariáveis consideradas relevantes e independentes referem-se à amostra das avarias verificadas na área do branqueamento referidas na página 282 do subcapítulo 5.2.7.3 e no Anexo IX.

1 – Dados originais

1,10,1,1,1,1,1,71,5,1
1,4,1,0,0,1,1,48,10,1
0,3,1,0,0,1,1,34,1,1
1,3,0,0,1,1,0,100,8,1
0,3,1,1,1,1,0,100,1,1
1,15,1,1,1,1,0,100,30,1
0,21,1,1,0,1,1,33,9,1
0,7,1,0,0,1,1,55,3,1
0,15,1,1,1,1,0,100,7,1
1,34,1,1,1,1,1,65,5,1
1,34,1,1,1,1,1,65,1,1
0,34,1,1,1,1,1,65,2,1
1,8,1,0,1,1,1,48,3,1
1,2,1,1,1,1,0,100,2,1
1,10,1,1,1,0,1,71,37,1
1,3,0,0,1,0,1,46,1,1
0,5,1,0,0,0,1,32,1,1
0,21,1,1,0,0,1,33,1,1
1,5,1,0,0,0,1,32,10,1
1,10,1,0,0,0,1,30,42,1
1,11,1,1,0,0,1,30,7,1
1,10,1,1,1,0,1,71,1,1
1,15,1,1,1,0,0,100,2,1
1,10,1,1,1,0,1,71,1,1
1,10,1,1,1,0,1,71,1,1
0,21,1,1,0,0,1,33,4,1
1,11,0,1,0,0,1,30,35,1
0,4,1,0,1,0,1,45,1,1
1,4,1,0,1,1,1,45,10,1
1,3,1,0,1,1,1,46,7,1
0,4,0,0,1,1,1,45,11,1
0,10,1,1,1,1,1,71,5,1
1,3,1,0,1,1,1,46,1,1
0,11,1,1,0,1,1,30,17,1
1,3,0,0,1,1,0,100,35,1
1,8,1,0,1,1,1,48,12,1
1,5,1,0,0,1,1,32,21,1
1,12,0,0,0,1,1,32,1,1
1,12,1,0,1,1,0,100,1,1

2 – Dados corrigidos retirando a covariável G (percentagem de abertura de válvula) porque esta variável tanto diz respeito ao modo de funcionamento *on-off* como ao controlo variável de abertura e fecho em automático (T).

2.1 – Dados

1,9,1,1,1,1,1,5,1
 1,4,1,0,0,1,1,10,1
 0,15,1,0,1,1,1,1,1
 1,3,0,0,1,1,0,8,1
 0,13,1,1,1,1,0,1,1
 1,5,1,1,1,1,0,30,1
 0,21,1,1,0,1,1,9,1
 0,7,1,0,0,1,1,3,1
 0,15,1,1,1,1,0,7,1
 1,44,1,1,1,1,1,5,1
 1,44,1,1,1,1,1,1,1
 0,44,1,1,1,1,1,2,1
 1,24,1,0,1,1,1,3,1
 1,28,1,1,1,1,0,2,1
 1,22,1,1,1,0,1,37,1
 1,3,0,0,1,0,1,1,1
 0,5,1,0,0,0,1,1,1
 0,40,1,1,0,0,1,1,1
 1,5,1,0,0,0,1,10,1
 1,10,1,0,0,0,1,42,1
 1,21,1,1,0,0,1,7,1
 1,20,1,1,1,0,1,1,1
 1,15,1,1,1,0,0,2,1
 1,22,1,1,1,0,1,1,1
 1,22,1,1,1,0,1,1,1
 0,40,1,1,0,0,1,4,1
 1,11,0,1,0,0,1,35,1
 0,14,1,0,1,0,1,1,1
 1,4,1,0,1,1,1,10,1
 1,3,1,0,1,1,1,7,1
 0,4,0,0,1,1,1,11,1
 0,22,1,1,1,1,1,5,1
 1,13,1,0,1,1,1,1,1
 0,11,1,1,0,1,1,17,1
 1,3,0,0,1,1,0,35,1
 1,8,1,0,1,1,1,12,1
 1,5,1,0,0,1,1,21,1
 1,21,0,0,0,1,1,1,1
 1,12,1,0,1,1,0,1,1

Resultados

Descriptive Stats...

Variable	Avg	SD
1	0.6667	0.4714
2	16.2051	12.2562
3	0.8462	0.3608

4	0.5128	0.4998
5	0.6667	0.4714
6	0.6410	0.4797
7	0.7949	0.4038

Iteration History...

-2 Log Likelihood = 219.9023 (Null Model)
-2 Log Likelihood = 210.0903
-2 Log Likelihood = 209.6709
-2 Log Likelihood = 209.6707
-2 Log Likelihood = 209.6707 (Converged)

Overall Model Fit...

Chi Square= 10.2317; df=7; p= 0.1758

Coefficients, Standard Errors, Significance, and 95% Confidence Intervals

Var	Coeff.	StdErr	p	Lo95%	Hi95%
1	-0.6825	0.4046	0.0916	-1.4756	0.1105
2 (B)	0.0429	0.0204	0.0352	0.0030	0.0829
3	0.4057	0.5272	0.4416	-0.6276	1.4389
4	-0.6894	0.4979	0.1662	-1.6654	0.2865
5	0.5281	0.4140	0.2021	-0.2833	1.3394
6	-0.1137	0.4320	0.7925	-0.9604	0.7331
7	-0.3169	0.5184	0.5410	-1.3330	0.6991

Hazard ratios and 95% Confidence Intervals

Var	Hazard Ratio	Lo95%	Hi95%
1	0.5053	0.2286	1.1169
2	1.0439	1.0030	1.0864
3	1.5003	0.5339	4.2160
4	0.5019	0.1891	1.3317
5	1.6956	0.7533	3.8168
6	0.8926	0.3827	2.0815
7	0.7284	0.2637	2.0120

Baseline Survivor Function (at predictor means)...

1.0000	0.7589
2.0000	0.6830
3.0000	0.6231
4.0000	0.5890
5.0000	0.4916
7.0000	0.3855
8.0000	0.3452
9.0000	0.3058
10.0000	0.2081
11.0000	0.1736
12.0000	0.1394
17.0000	0.1072
21.0000	0.0790
30.0000	0.0550
35.0000	0.0246
37.0000	0.0095
42.0000	0.0000

A “vibração” no equipamento é a variável mais significativa.

Anexo XV – Análise de sobrevivência das bombas hidráulicas de transferência da pasta

Os resultados da análise de sobrevivência efectuada através da regressão semi-paramétrica de Cox foram obtidos através *do software* de Pezzullo (versão de 2005) disponível em <http://satatpages.org/prophaz>. Os dados das covariáveis consideradas relevantes e independentes referem-se à amostra das avarias verificadas na área do branqueamento referidas na página 279 do subcapítulo 5.2.7.2 e no Anexo V. Os dados referem-se a sete bombas do sistema de bombagem de pasta a média consistência.

1 – Dados originais

1,0,1,0,0,1,1,90,0
1,0,0,0,1,0,0,147,1
0,1,0,0,0,1,1,27,1
1,0,0,1,0,0,1,182,1
1,0,0,1,0,1,0,258,1
0,1,0,0,1,1,1,9,1
1,1,0,0,1,0,0,126,1
1,1,0,0,1,1,0,16,1
1,0,0,1,0,1,0,21,1
0,1,0,0,0,1,1,7,1
1,0,0,1,0,0,1,17,1
1,0,0,0,1,0,1,1,1
0,1,1,0,0,1,1,9,1
1,1,0,0,0,1,1,99,1
1,1,0,0,0,1,0,208,1
0,1,0,1,0,1,0,92,1
1,1,0,0,1,1,0,20,1
1,1,0,0,0,1,1,76,1
1,1,1,0,1,1,1,57,1
1,1,0,0,0,1,1,202,1
1,1,0,0,1,1,1,24,1
1,1,0,0,1,1,1,25,1
1,1,0,0,0,1,0,119,1
1,0,1,0,0,1,1,17,1
1,1,0,0,0,1,1,24,1
1,0,0,0,1,1,0,43,1
1,1,1,0,0,1,1,205,1
1,1,0,0,1,1,1,69,1
0,0,0,0,0,0,0,227,1

Resultados

Descriptive Stats...

Variable	Avg	SD
1	0.7931	0.4051

2	0.6552	0.4753
3	0.1724	0.3777
4	0.1724	0.3777
5	0.3793	0.4852
6	0.7931	0.4051
7	0.6207	0.4852

Iteration History...

-2 Log Likelihood = 137.8075 (Null Model)
-2 Log Likelihood = 124.0672
-2 Log Likelihood = 123.5803
-2 Log Likelihood = 123.5793
-2 Log Likelihood = 123.5793 (Converged)

Overall Model Fit...

Chi Square= 14.2281; df=7; p= 0.0473

Coefficients, Standard Errors, Significance, and 95% Confidence Intervals

Var	Coeff.	StdErr	p	Lo95%	Hi95%
1 (A)	-1.1707	0.5694	0.0398	-2.2867	-0.0547
2	-0.0212	0.6796	0.9752	-1.3533	1.3109
3	-0.4040	0.6030	0.5029	-1.5859	0.7780
4	0.1407	0.6664	0.8328	-1.1655	1.4469
5 (K2)	1.4966	0.5345	0.0051	0.4490	2.5442
6	0.6515	0.7037	0.3546	-0.7278	2.0307
7 (X1)	1.1462	0.5427	0.0347	0.0825	2.2098

Hazard ratios and 95% Confidence Intervals

Var	Hazard Ratio	Lo95%	Hi95%
1	0.3102	0.1016	0.9468
2	0.9791	0.2584	3.7096
3	0.6677	0.2048	2.1770
4	1.1511	0.3118	4.2500
5	4.4664	1.5667	12.7332
6	1.9183	0.4830	7.6196
7	3.1461	1.0860	9.1139

Baseline Survivor Function (at predictor means)...

1.0000	0.9786
7.0000	0.9567
9.0000	0.9129
16.0000	0.8816
17.0000	0.8209
20.0000	0.7904
21.0000	0.7602
24.0000	0.7029
25.0000	0.6672
27.0000	0.6269
43.0000	0.5842
57.0000	0.5388
69.0000	0.4833
76.0000	0.4198
92.0000	0.3516
99.0000	0.2849
119.0000	0.2248
126.0000	0.1726
147.0000	0.1260

182.0000	0.0859
202.0000	0.0513
205.0000	0.0232
208.0000	0.0074
227.0000	0.0010
258.0000	0.0000

São significativas as variáveis “após arranque do equipamento”, “o tipo (capacidade) da bomba” e as “causas extrínsecas” (como por exemplo a água de vedação) de falha.

2 – Com correcção de dados recolhidos

1,0,1,0,0,1,1,90,1
1,0,0,0,1,0,0,147,1
0,1,0,0,0,1,1,27,1
1,0,0,1,0,0,1,182,1
1,0,0,1,0,1,0,258,1
0,1,0,0,1,1,1,9,1
1,1,0,0,1,0,0,126,1
1,1,0,0,1,1,0,16,1
1,0,0,1,0,1,0,21,1
0,1,0,0,0,1,1,7,1
0,0,0,1,0,0,1,17,1
0,0,0,0,1,0,1,1,1
0,1,1,0,0,1,1,9,1
1,1,0,0,0,1,1,99,1
1,1,0,0,0,1,0,208,1
0,1,0,1,0,1,0,92,1
1,1,0,0,1,1,0,20,1
1,1,0,0,0,1,1,76,1
1,1,1,0,1,1,1,57,1
1,1,0,0,0,1,1,202,1
1,1,0,0,1,1,1,24,1
1,1,0,0,1,1,1,25,1
1,1,0,0,0,1,0,119,1
1,0,1,0,0,1,1,17,1
1,1,0,0,0,1,1,24,1
1,0,0,0,1,1,0,43,1
1,1,1,0,0,1,1,205,1
1,1,0,0,1,1,1,69,1
0,0,0,0,0,0,0,227,1

Resultados

Descriptive Stats...

Variable	Avg	SD
1	0.7241	0.4469
2	0.6552	0.4753
3	0.1724	0.3777
4	0.1724	0.3777
5	0.3793	0.4852
6	0.7931	0.4051
7	0.6207	0.4852

Iteration History...

-2 Log Likelihood = 142.7773 (Null Model)
 -2 Log Likelihood = 123.2549
 -2 Log Likelihood = 122.7130
 -2 Log Likelihood = 122.7092
 -2 Log Likelihood = 122.7092 (Converged)

Overall Model Fit...

Chi Square= 20.0680; df=7; p= 0.0054

Coefficients, Standard Errors, Significance, and 95% Confidence Intervals

Var	Coeff.	StdErr	p	Lo95%	Hi95%
1	-1.7934	0.5742	0.0018	-2.9188	-0.6680
2	-0.5079	0.6586	0.4406	-1.7987	0.7830
3	-0.1952	0.5696	0.7318	-1.3116	0.9212
4	-0.0628	0.6468	0.9227	-1.3305	1.2049
5	1.7670	0.5543	0.0014	0.6806	2.8533
6	1.2766	0.7538	0.0904	-0.2009	2.7540
7	1.3116	0.5737	0.0222	0.1871	2.4360

Hazard ratios and 95% Confidence Intervals

Var	Hazard Ratio	Lo95%	Hi95%
1	0.1664	0.0540	0.5127
2	0.6018	0.1655	2.1879
3	0.8227	0.2694	2.5124
4	0.9391	0.2644	3.3364
5	5.8531	1.9751	17.3451
6	3.5844	0.8180	15.7061
7	3.7120	1.2058	11.4278

Baseline Survivor Function (at predictor means)...

1.0000	0.9837
7.0000	0.9657
9.0000	0.9297
16.0000	0.8978
17.0000	0.8362
20.0000	0.8038
21.0000	0.7720
24.0000	0.7118
25.0000	0.6751
27.0000	0.6325
43.0000	0.5853
57.0000	0.5329
69.0000	0.4661
76.0000	0.3896
90.0000	0.3174
92.0000	0.2476
99.0000	0.1828
119.0000	0.1300
126.0000	0.0901
147.0000	0.0591
182.0000	0.0362
202.0000	0.0194
205.0000	0.0076
208.0000	0.0020

As variáveis significativas agora encontradas são as mesmas que as atrás referidas.

Anexo XVI – Análise de sobrevivência dos motores eléctricos das bombas de pasta de média consistência

Os resultados da análise de sobrevivência efectuada através da regressão semi-paramétrica de Cox foram obtidos através *do software* de Pezzullo (versão de 2005) disponível em <http://satatpages.org/prophaz>. Os dados das covariáveis consideradas relevantes e independentes referem-se à amostra das avarias verificadas na área do branqueamento referidas na página 280 do subcapítulo 5.2.7.2 e no Anexo VI. Os dados referem-se a sete motores eléctricos do sistema de bombagem de pasta a média consistência.

1 – Dados iniciais

1,0,1,1,1,0,0,100,1
0,0,0,1,1,0,0,160,1
1,0,0,0,1,1,1,63,1
0,0,1,1,0,1,1,1,1
1,0,0,0,1,0,0,29,1
0,0,0,1,0,0,0,339,1
1,1,0,0,0,0,0,85,1
1,0,1,1,0,0,1,4,1
1,1,1,0,1,0,0,207,1
1,1,0,0,1,0,0,189,1
1,1,0,1,1,1,1,14,1
1,1,1,1,1,0,1,2,1
1,1,0,0,1,0,1,243,1
1,1,0,0,1,0,0,16,1
1,1,0,0,1,1,0,241,1
1,0,1,0,1,1,0,130,1
1,0,1,0,1,1,1,256,1
1,1,0,0,0,0,1,184,1
1,1,0,0,0,1,0,129,1

Resultados

Descriptive Stats...

Variable	Avg	SD
1	0.8421	0.3646
2	0.5263	0.4993
3	0.3684	0.4824
4	0.3684	0.4824
5	0.6842	0.4648
6	0.3684	0.4824
7	0.4211	0.4937

Iteration History...

-2 Log Likelihood = 78.6798 (Null Model)
 -2 Log Likelihood = 73.8511
 -2 Log Likelihood = 71.3392
 -2 Log Likelihood = 71.2957
 -2 Log Likelihood = 71.2957 (Converged)

Overall Model Fit...

Chi Square= 7.3840; df=7; p= 0.3900

Coefficients, Standard Errors, Significance, and 95% Confidence Intervals

Var	Coeff.	StdErr	p	Lo95%	Hi95%
1	2.5652	1.5506	0.0981	-0.4740	5.6044
2	0.2477	0.9070	0.7848	-1.5300	2.0254
3	-0.0660	0.8614	0.9389	-1.7543	1.6223
4 (H)	2.0579	0.8190	0.0120	0.4526	3.6632
5	-0.4329	0.6479	0.5040	-1.7029	0.8370
6	0.2650	0.5685	0.6411	-0.8492	1.3792
7	0.1046	0.5601	0.8519	-0.9932	1.2023

Hazard ratios and 95% Confidence Intervals

Var	Hazard Ratio	Lo95%	Hi95%
1	13.0032	0.6225	271.6118
2	1.2811	0.2165	7.5788
3	0.9361	0.1730	5.0650
4	7.8295	1.5724	38.9855
5	0.6486	0.1822	2.3094
6	1.3034	0.4278	3.9717
7	1.1102	0.3704	3.3277

Baseline Survivor Function (at predictor means)...

1.0000	0.9686
2.0000	0.9352
4.0000	0.8954
14.0000	0.8423
16.0000	0.7792
29.0000	0.7183
63.0000	0.6594
85.0000	0.6015
100.0000	0.5351
129.0000	0.4562
130.0000	0.3788
160.0000	0.3095
184.0000	0.2448
189.0000	0.1830
207.0000	0.1288
241.0000	0.0809
243.0000	0.0397
256.0000	0.0099
339.0000	0.0000

A variável mais significativa é o “tipo de acção de manutenção” praticada antes da avaria onde, neste caso, também se aplicam as acções de detecção das falhas também chamadas de detectivas.

2 – Com correcção de dados recolhidos e retirando a covariável X (avaria mecânica ou eléctrica)

1,0,1,1,1,0,50,1
 0,0,0,1,0,0,160,1
 1,0,0,0,0,1,63,1
 0,0,1,1,0,1,1,1
 1,0,0,0,1,1,29,1
 0,0,0,1,0,0,339,1
 1,1,0,0,0,0,85,1
 1,0,1,0,0,0,4,1
 1,1,1,0,0,1,207,1
 1,1,0,0,0,1,189,1
 1,1,0,1,1,1,14,1
 1,1,1,1,0,1,2,1
 1,1,0,0,1,0,243,1
 1,1,0,0,1,0,16,1
 1,1,0,0,1,1,241,1
 1,0,1,0,1,1,130,1
 1,0,1,0,1,1,256,1
 1,1,0,0,0,1,184,1
 1,1,0,0,0,0,129,1

Resultados

Descriptive Stats...

Variable	Avg	SD
1	0.8421	0.3646
2	0.5263	0.4993
3	0.3684	0.4824
4	0.3158	0.4648
5	0.4211	0.4937
6	0.5789	0.4937

Iteration History...

-2 Log Likelihood = 78.6798 (Null Model)
 -2 Log Likelihood = 73.7440
 -2 Log Likelihood = 70.9605
 -2 Log Likelihood = 70.8590
 -2 Log Likelihood = 70.8589 (Converged)

Overall Model Fit...

Chi Square= 7.8208; df=6; p= 0.2515

Coefficients, Standard Errors, Significance, and 95% Confidence Intervals

Var	Coeff.	StdErr	p	Lo95%	Hi95%
1 (A)	4.0640	1.7336	0.0191	0.6661	7.4619
2	-0.6118	0.7663	0.4246	-2.1136	0.8901
3	-0.3269	0.6964	0.6388	-1.6919	1.0380
4 (H)	2.2696	0.9398	0.0157	0.4276	4.1116
5	-1.0428	0.6861	0.1285	-2.3875	0.3019
6	-0.0370	0.6085	0.9515	-1.2297	1.1557

Hazard ratios and 95% Confidence Intervals

Var	Hazard Ratio	Lo95%	Hi95%
1	58.2055	1.9466	1740.3957
2	0.5424	0.1208	2.4353
3	0.7211	0.1842	2.8236
4	9.6755	1.5335	61.0455
5	0.3525	0.0919	1.3524
6	0.9637	0.2924	3.1762

Baseline Survivor Function (at predictor means)...

1.0000	0.9690
2.0000	0.9340
4.0000	0.8933
14.0000	0.8486
16.0000	0.8010
29.0000	0.7544
50.0000	0.6998
63.0000	0.6301
85.0000	0.5547
129.0000	0.4767
130.0000	0.4001
160.0000	0.3306
184.0000	0.2638
189.0000	0.1935
207.0000	0.1229
241.0000	0.0653
243.0000	0.0273
256.0000	0.0054
339.0000	0.0000

São significativas as variáveis “arranque do equipamento” e “tipo de manutenção”

3 – Com dados censurados (correspondentes às avarias ocorridas em funcionamento mas após arranque).

1,0,1,1,1,0,100,1
0,0,0,1,0,0,160,0
1,0,0,0,0,1,63,1
0,0,1,1,0,1,1,0
1,0,0,0,1,1,29,1
0,0,0,1,0,0,339,0
1,1,0,0,0,0,85,1
1,0,1,0,0,0,4,1
1,1,1,0,0,1,207,1
1,1,0,0,0,1,189,1
1,1,0,1,1,1,14,1
1,1,1,1,0,1,2,1
1,1,0,0,1,0,243,1
1,1,0,0,1,0,16,1
1,1,0,0,1,1,241,1
1,0,1,0,1,1,130,1
1,0,1,0,1,1,256,1
1,1,0,0,0,1,184,1
1,1,0,0,0,0,129,1

Resultados

Descriptive Stats...

Variable	Avg	SD
1	0.8421	0.3646
2	0.5263	0.4993
3	0.3684	0.4824
4	0.3158	0.4648
5	0.4211	0.4937
6	0.5789	0.4937

Iteration History...

-2 Log Likelihood = 68.6320 (Null Model)
-2 Log Likelihood = 56.0351
-2 Log Likelihood = 52.2196
-2 Log Likelihood = 51.7220
-2 Log Likelihood = 51.5560
-2 Log Likelihood = 51.4966
-2 Log Likelihood = 51.4750
-2 Log Likelihood = 51.4671
-2 Log Likelihood = 51.4641
-2 Log Likelihood = 51.4631
-2 Log Likelihood = 51.4627
-2 Log Likelihood = 51.4625
-2 Log Likelihood = 51.4625 (Converged)

Overall Model Fit...

Chi Square= 17.1695; df=6; p= 0.0087

Coefficients, Standard Errors, Significance, and 95% Confidence Intervals

Var	Coeff.	StdErr	p	Lo95%	Hi95%
1	18.8488	253.8652	0.9408	-478.7269	516.4245
2	-0.9837	0.8324	0.2373	-2.6153	0.6479
3	-1.1314	0.8347	0.1753	-2.7674	0.5046
4 (H)	2.8210	1.1038	0.0106	0.6575	4.9844
5 (O)	-1.7065	0.8354	0.0411	-3.3440	-0.0691
6	-0.2547	0.6249	0.6836	-1.4794	0.9701

Hazard ratios and 95% Confidence Intervals

Var	Hazard Ratio	Lo95%	Hi95%
1	36945.3137	0.0000	1.9069
2	0.3739	0.0731	1.9115
3	0.3226	0.0628	1.6563
4	16.7931	1.9300	146.1212
5	0.1815	0.0353	0.9332
6	0.7752	0.2278	2.6381

Baseline Survivor Function (at predictor means)...

2.0000	0.9957
4.0000	0.9905
14.0000	0.9846
16.0000	0.9780
29.0000	0.9712
63.0000	0.9635
85.0000	0.9540
100.0000	0.9406

129.0000	0.9195
130.0000	0.8942
184.0000	0.8633
189.0000	0.8112
207.0000	0.7231
241.0000	0.6074
243.0000	0.4393
256.0000	0.0008

São significativas as variáveis “tipo de manutenção” e “o número de paragens e arranques” que se associam à elevada carga (intensidade) eléctrica a que o equipamento fica submetido durante a fase do arranque.

Anexo XVII – Análise de sobrevivência do transportador C800

Os resultados da análise de sobrevivência efectuada através da regressão semi-paramétrica de Cox foram obtidos através *do software* de Pezzullo (versão de 2005) disponível em <http://satatpages.org/prophaz>. Os dados das covariáveis consideradas relevantes e independentes referem-se à amostra das avarias verificadas na área do branqueamento referidas na página 281 do subcapítulo 5.2.7.2 e no Anexo VII.

1 – Dados iniciais.

0,0,1,1,1,1
0,0,1,1,19,1
0,0,1,1,1,1
0,0,1,0,82,0
0,1,1,0,3,0
0,1,1,0,10,0
0,1,1,0,3,0
1,0,1,1,30,0
1,0,1,1,33,0
1,0,1,0,4,0
1,0,1,1,6,1
1,0,0,1,1,1,
0,0,1,0,20,1
0,0,1,0,1,1
1,0,0,1,2,1
1,0,0,1,5,1
1,0,1,0,1,1
1,1,0,0,25,0
0,0,1,0,2,0
0,0,0,1,4,1
1,1,0,1,39,0
1,0,0,1,11,1
1,1,0,1,5,0
1,0,0,0,24,1
1,0,0,1,4,1
1,0,0,1,6,1
1,1,0,1,9,1

Descriptive Stats...

Variable	Avg	SD
1	0.5926	0.4914
2	0.2593	0.4382
3	0.5556	0.4969
4	0.5926	0.4914

Iteration History...

-2 Log Likelihood = 87.2023 (Null Model)
-2 Log Likelihood = 77.3346
-2 Log Likelihood = 76.6290
-2 Log Likelihood = 76.6135
-2 Log Likelihood = 76.6135 (Converged)

Overall Model Fit...

Chi Square= 10.5888; df=4; p= 0.0316

Coefficients, Std Errs, Signif, and Conf Intervals...

Var	Coeff.	StdErr	p	Lo95%	Hi95%
1	-0.8897	0.6269	0.1558	-2.1121	0.3327
2	-2.0368	1.0619	0.0551	-4.1074	0.0338
3	-1.1543	0.6213	0.0632	-2.3659	0.0573
4	0.8488	0.6342	0.1808	-0.3880	2.0856

Baseline Survivor Function (at predictor means)...

1.0000	0.8953
2.0000	0.8694
4.0000	0.8154
5.0000	0.7720
6.0000	0.6830
9.0000	0.6282
11.0000	0.5682
19.0000	0.4942
20.0000	0.4118
24.0	0.3258

A covariável mais significativa encontrada relaciona-se com a “condição dos rolos” do transportador.

2 – Com dados censurados

O modo de falha em análise é o desalinhamento pelo que outros modos de falha foram censurados (0 *life*/censura e 1 morte)

0,0,1,1,1,1
0,0,1,1,19,1
0,0,1,1,1,1
0,0,1,0,82,0
0,1,1,0,3,0
0,1,1,0,10,0
0,1,1,0,3,0
1,0,1,1,30,0
1,0,1,1,33,0
1,0,1,0,4,0
1,0,1,1,6,1
1,0,0,1,1,1
0,0,1,0,20,1
0,0,1,0,1,1
1,0,0,1,2,1
1,0,0,1,5,1
1,0,1,1,1,1
1,1,0,0,25,0
0,0,1,0,2,0
0,0,0,0,4,1
1,1,0,1,39,0
1,0,0,0,11,1

1,1,0,1,5,0
 1,0,0,0,24,1
 1,0,0,1,4,1
 1,0,0,1,6,1
 1,1,0,1,9,1

Resultados

Descriptive Stats...

Variable	Avg	SD
1	0.5926	0.4914
2	0.2593	0.4382
3	0.5556	0.4969
4	0.5556	0.4969

Iteration History...

-2 Log Likelihood = 87.2023 (Null Model)
 -2 Log Likelihood = 73.8145
 -2 Log Likelihood = 72.9422
 -2 Log Likelihood = 72.9139
 -2 Log Likelihood = 72.9138
 -2 Log Likelihood = 72.9138 (Converged)

Overall Model Fit...

Chi Square= 14.2885; df=4; p= 0.0064

Coefficients, Std Errs, Signif, and Conf Intervals...

Var	Coeff.	StdErr	p	Lo95%	Hi95%
1	-1.5835	0.7796	0.0422	-3.1037	-0.0632
2	-2.4187	1.0923	0.0268	-4.5487	-0.2888
3	-1.9449	0.7917	0.0140	-3.4887	-0.4010
4	1.4901	0.6604	0.0240	0.2024	2.7778

Baseline Survivor Function (at predictor means)...

1.0000	0.9163
2.0000	0.8933
4.0000	0.8443
5.0000	0.8043
6.0000	0.7170
9.0000	0.6533
11.0000	0.5897
19.0000	0.5114
20.0000	0.4150
24.0000	0.3166

As covariáveis significativas encontradas são a “variação da consistência da pasta” ou da “quantidade de pasta” a transportar (volume de produção) e também a “condição dos rolos”.

Anexo XVIII – Avarias verificadas nas tubagens após a implementação de medidas

Apresenta-se em primeiro lugar algumas das acções de manutenção efectuadas nas tubagens e as avarias verificadas no período de Novembro de 2006 a Fevereiro de 2007.

Causa	Descrição do pedido	Data	Emissor	Situação
	Verificar vibração nas tubagens	02.11.06	Manut.	
	Fuga filtrado na torre E2	18.11.06	Prod.	
	Levantamento à condição das tubagens	27.11.06	Manut.	
	Fixar tubagens antes da FIC da D1.2	28.11.06	Manut.	
	Melhorar suportagem da FIC da D0	28.11.06	Manut.	
	Identificar juntas inadequadas	28.11.06	Manut.	
Avaria	Fuga manga anel extracção da D2	17.12.06	Prod.	Arranque
	Substituir juntas inadequadas	19.12.06	Manut.	
	Verif. tubagem contra-lavagem da D0	01.01.07	Manut.	
	Marcar tubagens com fuga	04.01.07	Manut.	
Avaria	Fuga filtrado na FIC da D1.1	23.01.07	Prod.	Arranque
Avaria	Fuga junta válvula <i>on-off</i> da D1.2	27.01.07	Prod.	
	Verif. manga dilatação 4 anel/extra D2	05.02.07	Prod.	Arranque
Avaria	Fuga na linha FC 748	10.02.07	Prod.	
Avaria	Reparar fuga na FIC D1.2 (FC703)	15.02.07	Prod.	
Avaria	Tubagem filtrado da D2 partida	21.02.07	Prod.	Arranque

De Março a Maio de 2007 as avarias verificadas foram as a seguir apresentadas.

Causa	Descrição do pedido	Data	Emissor	Situação
Avaria	Reparar fuga filtrado linha p/ cx. da D1.2	01.03.07	Prod.	
Avaria	Reparar linha de extracção torre E2	05.03.07	Manut.	
	Substituir gola da tubagem da FIC da D1.1	16.03.06	Manut.	
Avaria	Reparar fuga filtrado linha reposição da D2	10.04.07	Prod.	Arranque
	Reparar fuga anel extracção da E2	10.04.07	Prod.	Arranque
	Verificar FIC da D1.1	18.04.07	Prod.	Arranque
Avaria	Reparar fuga linha reposição da D1.1	30.04.07	Prod.	

Os eventos correspondentes às avarias descritas por fuga(s) de filtrados também referidas na página 369 do subcapítulo 5.5.4.1 e registadas no SAP/R3, ou seja no CMMS usado pelo grupo Portucel Soporcel, no período compreendido entre 01.11.06 e 31.10.07 foram os seguintes:

- SML1AMEC - Fuga filtrado para fic D1.1
- SML1AMEC Fuga filtrado junto p086/cxD12
- SML1AMEC - Fugas de filtrado EOS/E2/DO/D1.
- SML1AMEC - Fuga de filtrado para torre E01.1
- SML1AMEC - Fuga de filtrado haste da torre EO1.2
- SML1AMEC - Fuga linha filtrado sobre permutador E11
- SML1AMEC - Fuga junta dilatação n.4 anel/extra D/2
- SML1AMEC - Fuga linha extracção D.1.1 (junto caudal)
- SML1AMEC - Fuga na fic 748
- SML1AMEC - Fuga na fic da D 1.2
- * SML1AMEC - Fuga na junta compre.P122
- * SML1AMEC - Fuga na junta compre.P126
- * SML1AMEC - Fuga na junta linha c/.lavagem EO'S
- * SML1AMEC - Fuga na junta rep caixa D12
- * SML1AMEC - Fuga na junta rep.caixa EO'S
- SML1AMEC - Fuga na junta válvula (on off) D.1.2
- * Ocorreram várias paragens e arranque dos equipamentos

Assim, os dados observados a seguir apresentados são os correspondentes aos valores encontrados antes das avarias verificadas e depois da implementação das acções (medidas) consideradas com maior valor conducentes à minimização dos efeitos todas as covariáveis incluindo também as significativas descritas no subcapítulo 5.2.7.

Covariáveis das tubagens da lavagem e extracção de filtrados														
Data	Hora	Tempo (dias)	A	B	C	D	E	F	K1	K	H	G	Local. (torre)	
18.11.06			1	11	1	55	9	90	0	0	1	30	E2 -	Lav
17.12.06		29	1	32	0	75	3,6	200	1	0	1	100	D2 -	Extr
23.01.07		14	0	15	1	80	4	22	1	0	1	30	D1.1 -	Lav
27.01.07		4	0	6	0	78	3,5	77	1	0	1	100	D1.2 -	Extr
10.02.07		14	1	10	1	78	4	22	1	0	1	30	D1.1 -	Lav
15.02.07		5	0	8	1	80	3,5	22	1	0	1	35	D1.2 -	Lav
21.02.07		6	0	30	1	74	3,7	210	1	0	1	100	D2	
01.03.07		8	1	20	1	70	3,8	77	1	0	1	35	D1.2 -	Extr
05.03.07		4	1	10	0	80	4,3	210	1	0	1	100	E2 -	Extr
10.04.07		35	0	10	0	81	4,2	240	0	0	1	100	E2 -	Extr
30.04.07		20	0	14	1	80	4	22	1	0	1	30	D1.1 -	Repo

Em seguida apresenta-se algumas das inter-acções e os resultados obtidos através do *software* de Pezzullo na versão de 2005 já usado no subcapítulo 5.5.3.1.

-2 Log Likelihood = 40.4568 (Null Model)
 -2 Log Likelihood = 20.3954
 -2 Log Likelihood = 15.7146

 -2 Log Likelihood = 11.8869 (Converged)

Overall Model Fit...
 Chi Square = 28.5699; df = 8; p = 0.0004

Coefficients, Std Errs, Signif and Conf Intervs...

Var	Coeff.	StdErr	p	Lo95%	Hi95%	
1	-6.7095	4.2255	0.1123	-14.9493	1.5303	
2	-1.2368	0.7093	0.0812	-2.6199	0.1463	Nível de vibração
3	2.0883	26.4171	0.9370	-49.4250	53.6016	
4	-1.2004	0.6917	0.0827	-2.5493	0.1485	Temperatura da tubagem
5	0.6628	3.7297	0.8590	-6.6101	7.9356	
6	0.1009	0.0640	0.1149	-0.0239	0.2257	
7	37.2023	28.112	0.1857	-17.6175	92.0222	
8	0.0279	0.1463	0.8490	-0.2574	0.3131	

Baseline Survivor Function (at predictor means)...

4.0000	1.0000
5.0000	0.9990
6.0000	0.9912
8.0000	0.9306
14.0000	0.5785
18.0000	0.2903
20.0000	0.0001

Verifica-se, perante os resultados obtidos e considerando também para além das avarias das tubagens do sistema de lavagem, ou seja incluindo as avarias do sistema de extracção, que o número de dias de sobrevivência aumentou relativamente ao período antes analisado para a mesma probabilidade de avaria próxima de 0,5 (valor aproximado ao MTBF).

Anexo XIX – Avarias verificadas nos cilindros óleo-hidráulicos após a implementação de medidas

No que diz respeito às avarias verificadas após a implementação das acções (medidas) operacionais consideradas com maior valor acrescentado nos cilindros óleo-hidráulicos do sistema de elevação dos crivos referidos na página 257 do subcapítulo 5.2.2 e tendo também em consideração as covariáveis significativas apresentadas na tabela 5.42 da página 326 são listadas em seguida as descrições dos pedidos de intervenção à data das ocorrências, bem como os respectivos emissores das notificações ao(s) serviço(s) de manutenção. As acções de manutenção efectuadas e as avarias verificadas no período de Novembro de 2006 até Fevereiro de 2007 foram as que a seguir se descrevem.

Causa	Descrição do pedido	Data	Emissor	Situação
	Reapertar cilindro da torre E1.2	16.11.06	Manut.	
	Substituir filtro unid. hidráulica T. DO	26.11.06	Manut.	
	Subst. filtro unidade hidráulica H032	28.11.06	Manut.	
	Tempo alto do crivo da E1.2	04.12.06	Prod.	Variação
Avaria	Cil. 5 torre E1.2 c/ haste danificada	04.12.06	Manut.	
Avaria	Fuga de óleo no crivo da D1.1	06.12.06	Prod.	Variação
Avaria	Reparar fuga cilindro 2 difusor E1.2	29.12.06	Manut.	
Avaria	Fuga óleo cilindro 2 torre D2	08.01.07	Manut.	Variação
Avaria	Verificar anomalia cilindro/Nº1 D.1.2	07.02.07	Manut.	

De Março a Maio de 2007 as avarias verificadas foram as que a seguir se apresentam.

Causa	Descrição do pedido	Data	Emissor	Situação
Avaria*	Cilindro 5 elevação da D0	01.03.07	Manut.	
Avaria*	Cilindros 1 e 3 elevação da E1.2	01.03.07	Manut.	
Avaria*	Cilindro 1 elevação crivo E1.1	01.03.07	Manut.	
Avaria	Eliminar fuga de óleo na E1.2	19.03.07	Manut.	
Avaria	Eliminar fuga de óleo cilindro 4	23.03.07	Manut.	
	Fuga de óleo cilindro 1 da D1.2	16.04.07	Prod.	
Avaria	Fuga de óleo cilindro 1 da D1.2	23.05.07	Prod.	Variação

Os eventos correspondentes às avarias descritas por cilindro(s) e por fuga(s) também referidas na página 370 do subcapítulo 5.5.4.1 e registadas no SAP/R3, ou seja no CMMS usado pelo grupo Portucel Soporcel, no período compreendido entre 01.11.06 e 31.10.07 foram os seguintes:

- SML1AMEC - Cilindro 5 D0 haste danificada
- * SML1AMEC - Cilindro 5 elevação do crivo D0
- * SML1AMEC - Cilindro 1 elevação do crivo E1.1
- * SML1AMEC - Cilindro 1 e 3 elevação do crivo E1.2
- SML1AMEC - Cilindro 2 EO12 com fixação partida
- SML1AMEC - Cilindro 6 lavador da D0 perde óleo
- SML1AMEC - Fuga óleo cilindro 2 torre D2
- SML1AMEC - Fuga óleo cilindro nº 2 D2
- SML1AMEC - Fuga óleo cilindro nº3 torre DO
- SML1AMEC - Fuga óleo cilindro nº 4 torre D12.
- SML1AMEC - Fuga óleo cilindro nº 1 D1.2
- SML1AMEC - Fuga óleo cilindro nº 2 da torre E2

*Notificações efectuadas, entre outras, em consequência da análise de condição *on-line*.

Anexo XX – Avarias verificadas nas bombas hidráulicas após a implementação de medidas

No período entre 15.11.06 e 28.02.07 apenas ocorreram os pedidos de acção de manutenção que a seguir se apresentam relacionadas com o funcionamento das bombas em questão mas relativos ao sistema de vácuo a elas associadas.

Causa	Descrição do pedido	Data	Emissor	Situação
	Bomba de vácuo P063 presa	15.12.06	Prod.	
Avaria*	Rotura na linha de vácuo da P123	19.12.06	Manut.	Arranque
	Desencravar a bomba vácuo P123	20.12.06	Prod.	Arranque
	Limpeza/benef rotâmetros Mc`s/Bb`as	04.01.06	Manut.	

* Na tubagem do sistema de vácuo

De Março a Maio de 2007 os pedidos de manutenção e as disfunções verificadas foram os que a seguir se apresentam.

Causa	Descrição do pedido	Data	Emissor	Situação
	Desencravar P083	12.04.07	Produção	Arranque
	P063 com prisão	23.04.07		
	Desencravar P083	28.04.07	Produção	Arranque
	Desencravar P083	17.05.07	Produção	

Assim, no período compreendido entre Novembro de 2006 até Outubro de 2007 não se verificaram avarias nas bombas de pasta em estudo mas sim disfunções no funcionamento dos equipamentos devidas a encravamentos.

Anexo XXI - Avarias verificadas nos motores eléctricos após a implementação de medidas

Apresentam-se as acções de manutenção efectuadas no período de Novembro de 2006 até Fevereiro de 2007.

Causa	Descrição do pedido	Data	Emissor	Situação
	P122 em S.B.	18.12.06	Prod.	Parag./Arranque
	P102 em S.B.	18.12.06	Prod.	Parag./Arranque
	Shuntar P041	04.02.07	Prod.	Parag./Arranque
	Paragem da P062	10.02.07	Prod.	
Avaria	Motor da bomba de óleo da P062	23.02.07	Prod.	Parag./Arranque
	Shuntar P122	23.02.07	Prod.	Parag./Arranque

Durante o período atrás referido apenas o evento com a data de 23.02.07 se considera no âmbito do estudo efectuado. No período seguinte compreendido entre Março a Maio de 2007 os eventos verificados abaixo apresentadas relacionam-se com o sistema de vácuo associado aos motores das bombas de vácuo.

Causa	Descrição do pedido	Data	Emissor	Situação
	P063 em sb	09.03.07	Prod.	Parag./Arranque
	P063 em sb	22.03.07	“	
	Inspeccionar motores eléctricos	27.03.07	Manut.	
	Disparo térmico da P083	12.04.07	Prod.	Parag./Arranque
	P022.2 em sb	18.04.07	“	
	P063 em sb	02.05.07	“	

Os eventos referidos na página 372 do subcapítulo 5.5.4.1 e registadas no SAP/R3 ou seja no CMMS usado pela Portucel Soporcel, entre o período compreendido entre 01.11.06 e 31.10.07, foram as seguintes: SML1ELIN p063 em SB; SML1ELIN P063 em SB.; SML1ELIN P063 SEM INDICAÇÃO AMPERIMETRICA ; *SML1ELIN P102 em S.B.; SML1ELIN P103 em SB; *SML1ELIN P122 em S.B.

Anexo XXII - Avarias verificadas nas celas eléctricas após a implementação de medidas

No que diz respeito às avarias verificadas após a implementação das acções (medidas) operacionais consideradas com maior valor acrescentado nas celas eléctricas, referidas na página 253 do subcapítulo 5.2.2 e tendo também em consideração as covariáveis significativas apresentadas na tabela 5.41 da página 326 são listadas, em seguida, as acções de manutenção efectuadas e as avarias verificadas no período de Novembro de 2006 a Outubro de 2007. Assim, os eventos ou as avarias verificadas entre 01.11.06 e 31.10.07 registadas no SAP/R3 (CMMS da manutenção) nestes sistemas são as abaixo apresentadas.

*2007/04/12 SML1ELIN Reparar avaria no SA52 (transformador).

2007/07/23 SML1ELIN Reparar gaveta 225P082

2007/04/23 SML1ELIN Reparar pontos quentes "termografia"

*Equipamento que não é específico à área do branqueamento.

Relativamente às celas eléctricas apenas se apresenta uma das acções proactivas efectuadas após uma análise termográfica antes efectuada a este tipo de equipamentos.

Causa	Descrição do pedido	Data	Emissor
	Reparar pontos quentes termografia	24.01.07	Manutenção

De notar que a avaria registada com a data de 12.04.07 afectou as celas eléctricas do branqueamento mas deveu-se a um transformador que os alimenta. Este evento afectou significativamente a disponibilidade da área do branqueamento como se ilustrou na figura 5.85 da página 376.

Anexo XXIII – Avarias verificadas nas válvulas automáticas após a implementação de medidas

No que diz respeito às avarias verificadas após a implementação das acções (medidas) operacionais consideradas com maior valor acrescentado nas válvulas automáticas do sistema da lavagem da pasta referidas na página 255 do subcapítulo 5.2.2 e tendo também em consideração as covariáveis significativas apresentadas na tabela 5.42 da página 326 são listadas, em seguida, as descrições dos pedidos de intervenção à data das ocorrências, bem como os respectivos emissores das notificações ao(s) serviço(s) de manutenção. As acções de manutenção efectuadas e as avarias verificadas no período de Novembro de 2006 até Maio de 2007 foram as que a seguir se descrevem.

Causa	Descrição do pedido	Data	Emissor	Situação
Avaria	FIC 723 lavagem da torre D0	15.11.06	Prod.	
	FC 511 com mau funcionamento	18.11.06	Prod.	
Avaria	FC510 extracção da E2 avariada	20.11.06	Prod.	
	Medição vibração válv. automáticas	23.11.06	Manut.	
	Reduzir tempo abertura válvulas OS	06.12.06	Manut.	
Avaria	Anomalia na KS 1702	07.12.06	Prod.	Arranque
	Válvula <i>on-off</i> da D1.1 não fecha	19.12.06	Prod.	
	Registar % abertura válvulas Fic`s	28.12.06	Manut.	
	Identif. válvulas autom. c/abertura <50%	04.01.07	Manut.	
Avaria	Contra lavagem D1.2 KS586 não fecha	25.01.07	Prod.	
Avaria	KS 587 não abre	27.01.07	Prod.	
	FC 748 não controla	10.02.07	Prod.	Paragem
Avaria	Válvula <i>on-off</i> da E1.1 não abre	23.02.07	Prod.	
Avaria	Extracção da torre E2	27.02.07	Prod.	
	Rep. válv. contra-lavagem 1710 da D1.1	30.04.07	-	

O número de eventos observados durante cerca de 6 meses de funcionamento dos equipamentos no total de 15 incluindo, também, as acções proactivas da manutenção é manifestamente inferior ao do anexo IX correspondente ao período anterior à implementação das medidas tomadas em consequência das covariáveis significativas.

Anexo XXIV - Avarias verificadas nos sensores em linha após a implementação de medidas

As notificações efectuadas para os equipamentos de medição em linha entre Dezembro de 2006 e Fevereiro de 2007 foram as seguintes.

Causa	Descrição do pedido	Data	Emissor
	Limpeza quinzenal sensores PH`as*	06.12.06	Manutenção
	Residual da D.0 com valor errado	11.12.06	Produção
Avaria	PH entrada da linha 1 avariado	11.12.06	Produção
Sujidade	PH extracção E1.1 encravado	11.12.06	Produção
“	Desencravar QI627	18.12.06	Produção
Avaria	Sensor brancura 716 indicação errada	20.12.06	Produção
Sujidade	Indicação PH entrada 1770/1771 encrav	20.12.06	Produção
“	Sensor brancura da D0 com valor fixo	21.12.06	Produção
“	QI608 encravado	21.12.06	Produção
“	PH entrada da D1.2 encravado	15.01.07	Produção
	Mangueira PH da E2 partida	15.01.07	Produção
Sujidade	QI858 encravado	15.01.07	Produção
	Brancuras das D´s	19.01.07	Produção
Sujidade	Verificar QI1770	04.02.07	Produção
Avaria	QI717 sensor brancura D.O avariado	10.02.07	Produção
Sujidade	QI 608 encravado	24.02.07	Produção
	Linha PH residual da D0 solta	27.02.07	Produção

* A rotina sistemática de limpeza foi pedida no final de 2006 mas não foi executada

Durante o resto do ano de 2007 e até ao final do mês de Novembro continuou a verificar-se a existência frequente de acções de manutenção nos sensores a maior parte delas para a sua limpeza.

Anexo XXV - Avarias verificadas no transportador C800 após a implementação de medidas

No que diz respeito às avarias verificadas após a implementação das acções (medidas) operacionais consideradas com maior valor acrescentado no transportador designado por C800 referido na página 281 do subcapítulo 5.2.7.2 e tendo também em consideração as covariáveis significativas apresentadas na tabela 5.43 da página 327 são listadas, em seguida, o tipo de descrição dos pedidos de intervenção à data das ocorrências, bem como os respectivos emissores das notificações ao(s) serviço(s) de manutenção. O total das avarias verificadas no período analisado de 01.11.06 a 31.10.07 foram 6 conforme se referiu na página 362 do subcapítulo 5.5.4.1. Durante o início da implementação das medidas ocorreram 3 desalinhamentos do tapete transportador e uma substituição de rolete de carga, conforme a seguir se apresenta.

Causa	Descrição do pedido	Data	Emissor	Situação
	Alinhar C800	03.12.06	Produção	Variação
	Tapete C800 desalinhado	16.12.06	Produção	
	Tapete C800 desalinhado	17.12.06	Produção	Variação
Avaria	Substituir rolete do C800	06.01.07	Produção	

Também desde 2006 o número de paragens por causas internas e externas ao branqueamento (covariável considerada e identificada como muito importante e, por isso, referida nos subcapítulos 5.2.4 e 5.2.5) evoluiu muito positivamente relativamente aos anos anteriores conforme a seguir é apresentado.

Tipo de paragens	Responsabilidades	2004	2005	2006	2007 (Abril)
Externas	Externa	63	74	19	18
Internas	Produção	48	49	10	5
	Manutenção	82	49	13	5
Totais		193	172	42	28