

CAPA

(definido pelo IPS)

Agradecimentos

Ao Professor Doutor Filipe J. Didelet Pereira, pela orientação científica e inteira disponibilidade na resolução de problemas que esta dissertação envolveu.

À empresa J. Deus - Setúbal por ter aceite o meu pedido para que o caso de estudo desta dissertação se desenvolvesse naquela empresa e pelo apoio técnico que me foi prestado, com especial destaque para o Engenheiro Nuno Roma e o Mestre Engenheiro Luís Esteves. Aos operadores de máquinas CNC e a todos os colaboradores da empresa que sempre se mostraram disponíveis para esclarecer dúvidas relacionadas com os seus sectores de trabalho.

Aos Professores da Escola Superior de Tecnologia de Setúbal, Professor Doutor António Ramos Pires e o Professor Doutor Ricardo Cláudio, pela disponibilidade e atenção que sempre prestaram de forma inquestionável, munindo-me de ferramentas para a execução deste trabalho.

Finalmente, à minha família (esposa e filhos) pelos tempos roubados.

Resumo

Na dissertação de Mestrado aqui apresentada com o título “Estudo de fiabilidade em máquinas CNC” desenvolvida na empresa J. Deus, determinaram-se as máquinas críticas em termos de avarias e sugeriu-se o tipo de manutenção mais apropriado para cada uma das 9 máquinas CNC, do sector de maquinaria da empresa, de modo a se assegurar a maior disponibilidade das máquinas e também reduzir o custo com a manutenção.

Através do registo histórico de avarias de cada máquina foi possível seleccionar as máquinas críticas em termos de avarias. Fazendo uso da Distribuição Weibull (Software Microsoft Excel), determinou-se o parâmetro de forma, β , e a sua interpretação permitiu concluir que as máquinas devem continuar com o tipo de manutenção curativa (ou seja, reparar quando avariar).

Palavras-chave: manutibilidade, fiabilidade, disponibilidade de equipamentos, avaria, distribuição de Weibull.

Abstract

The Master's dissertation presented here under the title “Study of reliability in CNC machines” carried out in the company named J. Deus, determined the critical machines in terms of faults and was suggested the most appropriate type of maintenance for each of the nine CNC machines, in the machining sector of the company, so as to ensure greater availability of the machines and also reduce the cost of maintenance.

Through the historical failure records of each machine it was possible to select the critical machines in terms of failure. Using the Weibull distribution (Microsoft Excel software), the shape parameter, β , was determined and its interpretation led us to conclude that the machines should continue with curative maintenance type (repair after failure).

Keywords: maintainability, reliability, equipment availability, fault, Weibull distribution.

Índice

Agradecimentos	ii
Resumo	iii
Abstract.....	iv
Índice	v
Lista de Figuras.....	vii
Lista de Tabelas	ix
Lista de Símbolos e Siglas	x
Capítulo 1.....	1
Introdução	1
1.1. Enquadramento	1
1.2. Objectivos da dissertação.....	5
1.3. Conceitos utilizados	5
1.4. Metodologia utilizada	7
1.5. Organização da dissertação.....	8
Capítulo 2.....	9
Revisão bibliográfica	9
2.1. Evolução da manutenção	9
2.2. Objectivos da manutenção	10
2.3. Tipos de manutenção	12
2.4. Equipamentos reparáveis e não reparáveis	15
2.5. Padrão geral de avarias	15
2.6. Níveis de manutenção	16
2.7. Organização de operações de manutenção	17
2.8. Diagrama de Ishikawa	20
2.9. FMECA como ferramenta de análise de fiabilidade.....	21
2.10. Manutibilidade	23
2.11. Disponibilidade	25
2.12. Fiabilidade	28
2.12.1. A fiabilidade na concepção de máquinas	29
2.12.2. Factores relacionados a fiabilidade	29
2.12.3. Definição dos objectivos de fiabilidade.....	30
2.13. Manutenção Produtiva Total.....	30

2.13.1. Perdas que o TPM permite eliminar	31
2.13.2. Programa TPM	31
2.14. Manutenção Centrada na Fiabilidade	32
2.15. Qualidade em manutenção avaliada pela disponibilidade dos equipamentos	33
2.16. Métodos estatísticos na fiabilidade.....	34
2.17. Distribuição de Weibull	35
2.18. Fiabilidade em elementos mecânicos e electrónicos	35
2.19. Controlo em manutenção	37
2.20. Histórico de manutenção.....	38
2.21. Custos de manutenção.....	39
2.22. Conclusão do capítulo 2	41
Capítulo 3.....	42
Caso de estudo.....	42
3.1. Caracterização da empresa	42
3.2. Caracterização dos equipamentos	47
3.3. Organização de manutenção na empresa J. Deus.....	55
3.4. Análise das intervenções por máquinas CNC	56
3.5. Aplicação das metodologias de análise de fiabilidade	58
3.5.1. Identificação dos modos de avarias	58
3.5.2. Aplicação da distribuição de Weibull no caso de estudo.....	59
3.5.3. Metodologia FMECA – sua aplicação ao caso de estudo	65
3.5.4. Determinação do modo de falha crítico pela análise FMECA.....	67
3.6. Análise de resultados e aplicação de modelos de custos.....	68
3.7. Conclusão do capítulo 3	69
Capítulo 4.....	71
Conclusões	71
4.1. Conclusões	71
4.2. Propostas para trabalho futuro.....	72
Bibliografia utilizada.....	73
Anexos.....	1
Anexo I.....	2
Anexo II.....	3
Anexo III	6

Lista de Figuras

Figura 1.1- Chapa testa produzida por uma ferramenta progressiva	3
Figura 1.2- Componente do <i>intercooler</i>	3
Figura 1.5- <i>Intercooler</i> montado.....	3
Figura 1.3-Componente lateral do <i>intercooler</i>	3
Figura 1.4-Peça obtida por injeção de plástico através de um molde	3
Figura 1.6- Molde para injeção de plástico montado na J. Deus - Setúbal	4
Figura 1.7- Ferramenta progressiva montada na J. Deus -Setúbal	4
Figura 2.1- Linhas de força da manutenção (extraído de [Pinto, 1994]).	11
Figura 2.2- Tipos de manutenção (extraído de [Assis, 2004]).....	13
Figura 2.3-. Fiabilidade de um equipamento submetido a manutenção preventiva (extraído de [Pinto, 1994])	14
Figura 2.4-Padrão geral de distribuição de avarias “curva da banheira” (extraído de [Pereira, 2012]).	16
Figura 2.5- Curva ABC (extraído de [Machado, 2013]).....	18
Figura 2.6- Árvore de decisão (extraído de [Ferreira, 1998]).....	19
Figura 2.7- Diagrama de Causa-Efeito ou diagrama de Ishikawa para melhoria de desempenho (extraído de [Farinha, 2011]).....	21
Figura 2.8 – Esquema da FMECA proposto (extraído de [Gonçalves, 2006]).....	23
Figura 2.9-Manutibilidade e disponibilidade (extraído de [Ferreira, 1998])	24
Figura 2.10– Disponibilidade, MTBF e MDT (extraído de [Gonçalves (2006)])	27
Figura 2.11- Relação entre a disponibilidade intrínseca, função manutenção e a disponibilidade operacional (extraído de [Cabrita (2013)])	28
Figura 2.12- Iceberg de custos verdadeiros de manutenção (extraído de [Souris, 1992])	40
Figura 3.1- Empresa onde se realizou o caso de estudo desta dissertação, em Setúbal.	43
Figura 3.2- <i>Lay out</i> da instalação.....	44
Figura 3.3- Sequência da execução dos trabalhos na J. Deus, em Setúbal	46
Figura 3.4- Sistema de coordenadas dos eixos (extraído de [Azevedo]).....	47
Figura 3.5- Fresadora CNC – Cincinnati Arrow 750 (fonte: ESTSetúbal)	48
Figura 3.6- Máquina CNC, Fadal 4020	49
Figura 3.7- Máquina CNC, Fadal 6030	49

Figura 3.8- Máquina CNC, Deckel Maho DMU 80T	50
Figura 3.9- Máquina CNC, 306 – Deckel Maho DMU 80T	50
Figura 3.10- Máquina CNC, Anayak	51
Figura 3.11- Máquina CNC, 303 -DMU 50 M.....	52
Figura 3.12- Máquina CNC, 305 -DMU 50 M.....	53
Figura 3.13- Máquina CNC, GT-1614V	54
Figura 3.14- Máquina CNC, DMF 220 linear	54
Figura 3.15- Número de reparações por cada máquina.....	57
Figura 3.16- Duração de reparação por máquina	57
Figura 3.17- Variação da taxa de avarias durante a vida da máquina (extraído de [Lafraia, 2008])	59
Figura 3.18- Modo de avaria A para a máquina 3.....	61
Figura 3.19- Modo de avaria A para a máquina 9	62
Figura 3.20- Modo de avaria B para a máquina 3	63
Figura 3.21- Modo de avaria B para a máquina 9	64

Lista de Tabelas

Tabela 3.1- Folha do contrato de manutenção de 200 horas/ano.....	55
Tabela 3.2- Máquinas críticas em termos de avarias	56
Tabela 3.3- Modos de avarias por cada máquina.....	58
Tabela 3.4– Apresentação da FMECA da máquina CNC Deckel Maho.....	66
Tabela 3.5– Classificação de gravidade de avaria “G”	67
Tabela 3.6– Classificação de frequência de ocorrência de avarias “F”	68
Tabela 3.7– Classificação de não-detecção de avaria “D”	68
Tabela 3.8- Custo de uma operação de manutenção na J. Deus	69

Lista de Símbolos e Siglas

β	Parâmetro de forma (lei de Weibull)
λ	Taxa de avarias
μ	Taxa de reparações
τ	Desvio padrão
CNC	<i>Computerized Numerical Control</i> (controlo numérico computarizado)
D	Disponibilidade
D_i	Disponibilidade Intrínseca
D_o	Disponibilidade Operacional
ISO	<i>International Standard Organization</i> (organização internacional de normalização)
MDT	<i>Mean Down Time</i> (tempo médio de paragem para operações de manutenção)
MMDT	<i>Mean Maintenance Down Time</i> (tempo médio de imobilização para intervenções de manutenção)
MTBM	<i>Mean Time Between Maintenance</i> (tempo médio entre intervenções de manutenção)
MTTR	<i>Mean Time To Repair</i> (tempo médio para reparação)
NC	<i>Numerical Control</i> (controlo numérico)
NP	Norma Portuguesa
$R(t)$	<i>Reliability</i> (fiabilidade)
RCM	<i>Reliability Centered Maintenance</i> (manutenção centrada na fiabilidade)
t	Tempo [em horas]
TBF	<i>Time Between Failure</i> (tempo de bom funcionamento)
TPM	<i>Total Productive Maintenance</i> (manutenção produtiva total)
TTR	<i>Time To Repair</i> (tempo técnico de reparação).

Capítulo 1

Introdução

Este capítulo serve de introdução à dissertação. No qual apresentam-se as actividades da empresa onde realizou-se o caso estudo desta dissertação, os objectivos do estudo de caso e ainda apresenta-se a metodologia utilizada para a execução da dissertação e a sua organização.

1.1. Enquadramento

O caso de estudo apresentado nesta dissertação foi desenvolvido na empresa J. Deus -Setúbal. Esta empresa presta serviços alargados em concepção e no fabrico de máquinas, moldes para injeção de plásticos, ferramentas progressivas e convencionais. Produz os meios que vão ser utilizados na casa mãe J. Deus - Porto Alto.

A empresa J. Deus - Porto Alto, concorre no mercado para o fornecimento de *intercoolers* e radiadores aos fabricantes da indústria automóvel. Uma vez ganho o concurso para o fornecimento, começam a ser feitos estudos e testes sobre modelos com o objectivo de apresentar aos fabricantes de automóveis um produto que responda a todas as exigências feitas pelas marcas de automóveis (clientes).

A análise dos requisitos dos clientes vai permitir identificar quantos meios (moldes, ferramentas e máquinas) vão ser necessários produzir nas instalações da empresa em Setúbal.

Este processo “termina” com a elaboração dos modelos 3D e desenhos 2D dos produtos que vão ser o ponto de entrada das actividades na J. Deus -Setúbal.

A J. Deus -Setúbal, por sua vez, define as ferramentas necessárias para a construção do *intercooler*, que poderão ser, no mínimo:

- Um molde ou dois moldes para injeção de plástico (que irá produzir as duas caixas do “*intercooler*”);
- Uma ferramenta progressiva para produzir os lados do ninho;
- Uma ferramenta progressiva para produzir as chapas testa;
- Os tubos e os alhetes constituintes do ninho do “*intercooler*”;
- Uma ferramenta de montagem do ninho no “*intercooler*”;
- Uma ferramenta para cravar a chapa testa na caixa de plástico;
- Um dispositivo para controlo da estanquicidade dos *intercoolers* já montados.

Após a definição das ferramentas necessárias, o departamento de projecto dimensiona todas as peças e define todos os acessórios a utilizar no Molde, na Ferramenta ou na Máquina. São feitas modelações 3D e desenhos 2D de todas as peças necessárias.

Em paralelo são feitas as encomendas de todos os materiais (aços e acessórios). Após a definição das geometrias começam a ser elaborados os programas de maquinação. E são produzidas todas as peças não *standards* (porque as peças *standards* são compradas no mercado local).

Depois das peças feitas, estas seguem para a serralharia onde são feitos os ajustes e afinações que serão validados após os testes/ensaaios.

Depois das peças produzidas estarem em conformidade dimensional/funcional estes meios são enviados para a produção na J. Deus - Porto Alto.

Na empresa J. Deus - Setúbal, o departamento de produção está subdividido em sectores de fresagem, rectificação, electroerosão, máquinas CNC e de montagem.

Entre os sectores referidos acima, o caso de estudo desta dissertação ocupa-se do sector de máquinas CNC, estudando a fiabilidade das máquinas.

A seguir apresentam-se nas figuras de 1.1 a 1.4 algumas das peças produzidas por uma ferramenta progressiva e outras por injeção de plástico. Na figura 1.5 apresenta-se o *Intercooler* montado.



Figura 1.1- Chapa testa produzida por uma ferramenta progressiva



Figura 1.2- Componente do *intercooler*



Figura 1.3-Componente lateral do *intercooler*



Figura 1.4-Peça obtida por injeção de plástico através de um molde



Figura 1.5-*Intercooler* montado

A seguir apresentam-se, nas figuras 1.6 e 1.7, respectivamente, um molde para injeção de plástico e uma ferramenta progressiva, montados com peças fabricadas na empresa J. Deus-Setúbal e com outras compradas no mercado local.



Figura 1.6- Molde para injeção de plástico montado na J. Deus - Setúbal

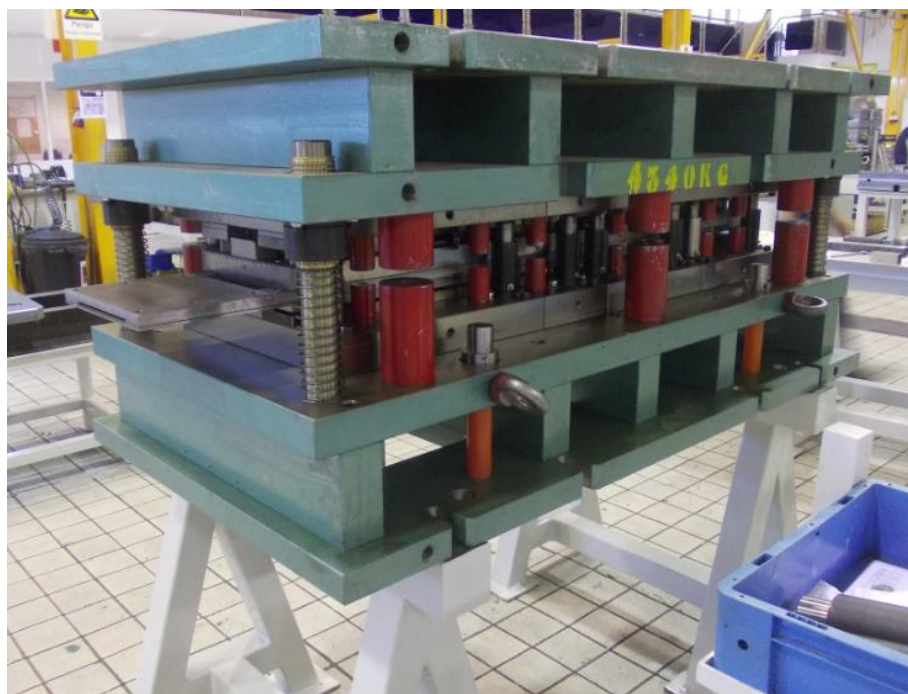


Figura 1.7- Ferramenta progressiva montada na J. Deus -Setúbal

1.2. Objectivos da dissertação

O objectivo desta dissertação é estudar a fiabilidade das máquinas CNC da empresa J. Deus em Setúbal, em termos de avaria, através da análise do registo histórico de cada máquina, determinando os modos de avarias e as máquinas críticas e, assim, recomendar o tipo de manutenção mais adequado para cada uma das 9 máquinas CNC do sector de maquinação da empresa, de modo a que se assegure a maior disponibilidade das máquinas e por forma a reduzir o custo com a manutenção.

1.3. Conceitos utilizados

Manutenção:

Segundo Farinha (2011), de acordo com a norma NP EN 13306:2007, a manutenção é a “Combinação de todas as acções técnicas, administrativas e de gestão, durante o ciclo de vida de um *bem*, destinadas a mantê-lo ou a repô-lo num estado em que pode desempenhar a função requerida”.

De uma forma resumida, podemos dizer que:

“Manutenção é a ciência de prolongar a vida e a fiabilidade dos equipamentos.”

Fazer manutenção é, portanto, efectuar as operações de lubrificação, observação dos equipamentos, reparação e melhoramento, o que permite conservar o estado do equipamento, de forma a assegurar a continuidade e qualidade da produção. É de realçar que uma boa manutenção é executar todas estas operações por um custo global mínimo.

Manutenção preventiva refere-se a manutenção efectuada a intervalos de tempo pré-determinados, ou de acordo com critérios prescritos, com a finalidade de reduzir a probabilidade de avaria ou de degradação do funcionamento de um *bem*.

Manutenção correctiva refere-se a manutenção efectuada depois da detecção de uma falha e é destinada a repor um *bem* num estado em que pode realizar uma função requerida.

Manutenção produtiva total (*Total Productive Maintenance - TPM*): é a manutenção conduzida com a participação de todos, desde os operadores das máquinas e do pessoal da manutenção, até ao nível superior da gestão, passando pelos quadros intermédios. Tem como objectivo otimizar o funcionamento de máquinas e instalações, através da participação criativa de todos os colaboradores, sendo um processo que possibilita a melhoria contínua na empresa.

Manutenção Centrada na Fiabilidade (*Reliability Centered Maintenance* - RCM): é um método sistemático para determinar quais devem ser os requisitos de manutenção de forma a assegurar que qualquer equipamento continue a desempenhar as funções requeridas no seu contexto operacional, Assis (2004).

Avaria e falha:

A avaria é definida como a cessação da aptidão de um *bem* para cumprir uma função requerida. Após a avaria o *bem* poderá estar em falha, total ou parcial. Assim, a Norma Portuguesa EN 13306:2007 considera a *avaria* como um acontecimento. E *em falha* ou *avariado* como um estado. Deste estado são excluídas a indisponibilidade durante a manutenção preventiva, ou outras acções programadas, ou pela falta de recursos externos.

Segundo Pereira (2012), deverá entender-se por *bem*, e de acordo com a norma NP EN 13306, de 2007, qualquer elemento, componente, aparelho, subsistema, unidade funcional ou sistema que pode ser considerado individualmente. Um determinado número de bens, um conjunto de bens ou uma amostra também poderá ser considerado como um bem.

Taxa de avarias(λ): é um indicador da fiabilidade. É o número de avarias ocorridas num dispositivo ou equipamento num dado intervalo de tempo, dividido por esse mesmo intervalo de tempo. Representa-se por:

$$\frac{\text{Número de avarias}}{\text{Tempo}} \quad (1.1)$$

Análise de avarias: é o exame lógico e sistemático de um bem que teve uma avaria, a fim de identificar e analisar o mecanismo da avaria, a sua causa e consequências.

Fiabilidade: A norma NP EN 13306, de 2007, define a Fiabilidade como “A aptidão de um *bem* para cumprir uma função requerida sob determinadas condições, durante um dado intervalo de tempo”.

O termo *fiabilidade* também se aplica como uma medida de desempenho da fiabilidade, podendo definir-se neste caso como uma probabilidade.

Manutibilidade: A manutibilidade pode ser descrita como a probabilidade de um equipamento ser reposto a funcionar ao fim de um tempo dado, após a falha, desde que as operações de manutenção tenham sido conduzidas em condições bem definidas.

Disponibilidade: A disponibilidade é a probabilidade de um equipamento reparável estar em funcionamento durante um determinado tempo total de serviço. A disponibilidade depende da fiabilidade e da manutenção.

Reparação refere-se a acções físicas executadas para restabelecer a função requerida de um *bem* em estado de falha.

Órgão reparável é aquele em que quando, após sofrer uma avaria, é reposto nas condições que lhe permitam continuar a cumprir as funções que lhe foram atribuídas e que se encontram especificadas até à próxima avaria.

Órgão não reparável é aquele em que após sofrer uma avaria, é substituído por outro igual e descartado.

Paragem programada refere-se a interrupção programada do funcionamento de um equipamento para se realizar operações de manutenção ou para outros fins.

Vida útil é o intervalo de tempo, que sob determinadas condições, começa num dado instante e termina quando a taxa de avarias se torna inaceitável ou quando o *bem* é considerado irreparável na sequência de uma avaria ou por outras razões pertinentes.

1.4. Metodologia utilizada

A metodologia adoptada tem como base a combinação de conceitos de fiabilidade e gestão da manutenção, de modo a atingir o que se propõe como objectivos desta dissertação, descritos no ponto 1.2 deste capítulo.

Após a escolha do tema da presente dissertação, definiram-se os objectivos a atingir.

Iniciou-se o estudo com uma revisão bibliográfica relacionada com o tema, a qual envolveu a consulta de livros, dissertações de mestrado e artigos da especialidade adquiridos a partir do *site*: www.sciencedirect.com e outros artigos por intermédio do Professor orientador da presente dissertação.

Em seguida efectuou-se a recolha de histórico das máquinas CNC para posterior análise e demonstração de resultados. O estudo prático envolveu a análise das avarias e o seu agrupamento em modos de avarias, a análise das soluções apresentadas pelos técnicos de manutenção e ainda o estudo dos tempos de duração de cada reparação. Considerou-se um período de tempo decorrido entre 12 de Janeiro de 2010 e 06 de Maio de 2013 para o estudo da fiabilidade, de maneira a seleccionar as máquinas críticas.

Nesta fase, foi realizada uma análise de paragens por máquina, tendo resultado na selecção de duas máquinas críticas (a máquina 3 e a máquina 9), num conjunto de 9 máquinas que constituem o sector de maquinação CNC, tal como é apresentado na tabela 3.2 e na tabela 3.3.

1.5. Organização da dissertação

A presente dissertação encontra-se estruturada de acordo com uma sequência lógica de análise, no âmbito do objectivo a atingir. Apresenta-se a seguir uma descrição resumida, estando o trabalho dividido em quatro capítulos.

Os capítulos 1 e 2 designados por Fundamentos teóricos, nos quais, **o capítulo 1- Introdução**, apresenta os principais conceitos utilizados nesta dissertação e apresenta ainda de forma geral o trabalho desenvolvido, onde são descritos os objectivos que se ambicionam alcançar, bem como a metodologia a aplicar para esses objectivos. É também feito o enquadramento sobre o objecto de trabalho da empresa em que se realizou o caso de estudo. No **capítulo 2-Revisão bibliográfica** expõe-se a pesquisa bibliográfica que suporta teoricamente o caso de estudo. Neste capítulo explica-se a importância e função da gestão da manutenção. Apresenta a clássica curva da banheira e nela distinguem-se três fases de avarias possíveis para um dado equipamento. Caracteriza-se a distribuição de Weibull, uma vez que esta se revela bastante útil no estudo da fiabilidade.

A descrição da empresa subjacente ao caso de estudo, bem como a sequência da ordem de trabalhos na empresa J. Deus - Setúbal é explicada no **capítulo 3- Caso de estudo**. Neste capítulo para além da análise das intervenções de manutenção e análise de custos, retiram-se conclusões quanto a criticidade das máquinas, ao mesmo tempo que se sugere o tipo de manutenção mais apropriada a ser levada a cabo nas máquinas CNC.

Por último, no **capítulo 4- Conclusões** encontram-se as conclusões gerais que deste estudo se podem tirar, bem como algumas recomendações à empresa sobre o melhor tipo de manutenção a seguir.

Capítulo 2

Revisão bibliográfica

Este capítulo é dedicado a abordagem teórica sobre manutenção e fiabilidade, cujas metodologias serão aplicadas na análise de fiabilidade das máquinas CNC a serem estudadas no caso de estudo, no capítulo 3.

2.1. Evolução da manutenção

O termo “manutenção” tem a sua origem remota no vocabulário militar com o sentido de “manter, nas unidades de combate, os efectivos e o material num nível constante”. Mas, só a cerca de 70 anos as empresas começaram a reconhecer a importância da manutenção dos equipamentos como função autónoma e específica, Farinha (2011).

A mecanização associada à Revolução Industrial do século XIX fez sobressair a necessidade de reparar regularmente as máquinas; contudo, essas intervenções eram deixadas a cargo dos próprios operadores. Só a partir da 1ª Guerra Mundial a Indústria foi pressionada a atingir padrões mínimos de produção, levando à constituição de equipas especializadas para reparar as avarias no menor tempo possível. Essas equipas, porém, limitavam-se a fazer manutenção correctiva (paliativa, curativa e variantes desta designação) permanecendo na dependência da produção.

Esta situação manteve-se até a década de 1930. Por essa altura, a produção em massa nos países industrializados e a conjuntura internacional que antecedeu a 2ª Guerra Mundial, forçavam a produzir cada vez mais. As empresas começaram então a preocupar-se, não só em corrigir as falhas, mas também em evitar o seu aparecimento, o que alargou o âmbito da manutenção que passou a atuar também na prevenção de anomalias. Em consequência, a manutenção industrial foi ganhando importância e autonomia.

A expansão da aviação comercial, a partir da década de 1940, trouxe novos desafios à manutenção. Por um lado, obrigou a desenvolver métodos preventivos, já que a reparação de avarias durante o voo raramente é possível e, por outro, acentuou o problema da segurança de pessoas e bens.

Nasce então a Engenharia de Manutenção, baseada em processos científicos de manutenção preventiva com vista a aumentar a fiabilidade dos equipamentos.

Com a difusão dos computadores, a partir da década de 1960, potencia-se a capacidade de aplicar processos mais elaborados de análise e controlo de fiabilidade.

Posteriormente, a microelectrónica veio permitir a utilização de instrumentos digitais de alta precisão para medir parâmetros de funcionamento e fazer o diagnóstico precoce de avarias. Surgem, então, novos conceitos de manutenção, designadamente de “manutenção condicionada” e, por consequência, de “manutenção preditiva”, baseados no acompanhamento sistemático dos sintomas de falhas.

Nesta perspectiva, na década de 1970 surgiu na Europa um conceito alargado de manutenção, designado por Terotecnologia, que é a combinação de práticas de gestão, finanças, engenharia e outras, com o objectivo de conseguir os custos mínimos do ciclo económico dos activos físicos.

Na mesma linha e pela mesma altura, aparece a noção japonesa de manutenção produtiva total (*Total Productive Maintenance*, TPM) que assenta em cinco pontos [Farinha (2011)]:

1. Estabelecer objectivos que maximizem a eficácia da instalação;
2. Estabelecer um sistema global de manutenção produtiva que cubra integralmente o ciclo de vida da instalação;
3. Obter o envolvimento de todos os departamentos, tais como, de planeamento, de operações e de manutenção;
4. Obter a participação de todos os membros, desde a chefia superior aos operários;
5. Reforçar a motivação do pessoal, criando pequenos grupos autónomos de manutenção produtiva.

Um outro conceito, o de manutenção centrada na fiabilidade (*Reliability Centered Maintenance*, RCM) assumiu-se como um novo paradigma na actividade manutenção, o qual corresponde a uma abordagem da gestão industrial focada na identificação e estabelecimento de políticas de melhorias de manutenção e de investimentos de capital, conducente a gerir os riscos das falhas dos equipamentos mais eficazmente.

2.2. Objectivos da manutenção

Monteiro (2000) refere que até a década de 1970, a manutenção industrial era considerada uma tarefa secundária e dispendiosa, estando sujeita a reduções em

situações económicas difíceis.

Actualmente, as exigências feitas à função industrial para produzir bens e serviços de qualidade e a preços competitivos, leva-a a elaborar melhores programas de produção o que envolve o comprometimento das várias funções da empresa.

Nesta perspectiva, a gestão da manutenção, à qual se exigia apenas que mantivesse as instalações e os equipamentos industriais em estado de bom funcionamento, hoje, surge como peça chave da função industrial. A gestão da manutenção deverá entre outras funções:

- Assessorar a direcção fabril e a produção nos projectos de aquisição de novos activos;
- Estabelecer o correcto volume económico do trabalho de manutenção;
- Definir medidas de manutenção adequadas, na altura certa;
- Criar mecanismos de controlo de custos e levá-los a níveis aceitáveis e compatíveis com a segurança e qualidade exigíveis.

Para alcançar a sua missão, a manutenção recorre a um conjunto diversificado de tarefas seleccionadas e programadas, por exemplo, limpeza, inspecção, lubrificação, reparação, substituição, modificação, calibração, revisão geral e/ou controlo de condição.

A interligação das linhas de força da manutenção está apresentada na figura 2.1.

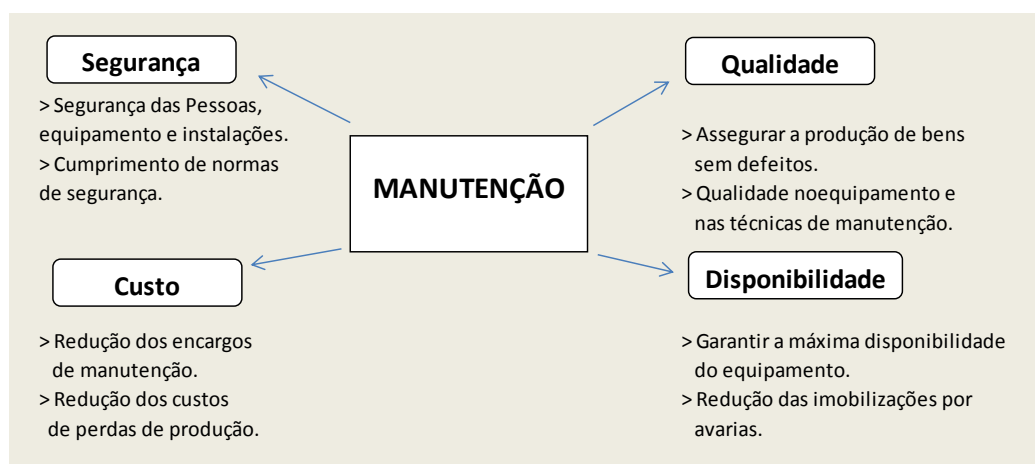


Figura 2.1- Linhas de força da manutenção (extraído de [Pinto, 1994]).

2.3. Tipos de manutenção

O primeiro tipo de manutenção de que se teve conhecimento consistia em operar o equipamento até à ocorrência de uma avaria para, então, proceder à sua reparação.

Actualmente, a manutenção constitui o acto de diagnosticar e reparar, ou prevenir falhas de um sistema. Assim, as intervenções de manutenção podem ser, essencialmente, de duas naturezas, Farinha (2011):

1. Manutenção planeada;
2. Manutenção não planeada.

Na manutenção planeada, as intervenções obedecem a um programa previamente estabelecido que visa os seguintes objectivos:

- Evitar a ocorrência de avarias ou mau funcionamento e equilibrar a carga de trabalho de manutenção;
- Compatibilizar as intervenções de manutenção com o programa de fabrico da empresa ou de serviço dos equipamentos;
- Preparar antecipadamente os recursos para tornar as intervenções mais económicas e eficazes.

Na manutenção não planeada incluem-se todas as intervenções não programadas antecipadamente. Uma acção de “manutenção não planeada” será, na generalidade dos casos, de carácter correctivo, supostamente curativa.

A manutenção planeada, por sua vez, subdivide-se em preventiva e correctiva.

A manutenção correctiva planeada é aquela que não é efectuada imediatamente depois da detecção de um estado de falha, mas que é retardada para um momento mais oportuno. É o caso de anomalias que se revelam de forma progressiva (por exemplo, um ruído crescente).

A manutenção preventiva é efectuada a intervalos de tempo pré-determinados, ou de acordo com critérios prescritos, com a finalidade de reduzir a probabilidade de avaria ou de degradação do funcionamento de um equipamento. Ela pode ser sistemática ou condicionada.

A manutenção preventiva sistemática é efectuada em intervalos de tempo preestabelecidos ou segundo um número definido de unidades de utilização mas sem controlo prévio do estado do equipamento.

A manutenção preventiva condicionada é baseada na vigilância do funcionamento do equipamento e ou dos parâmetros significativos desse funcionamento, integrando as

acções daí decorrentes.

Podemos generalizar e descrever os diferentes tipos de manutenção, tal como apresentado na figura 2.2.

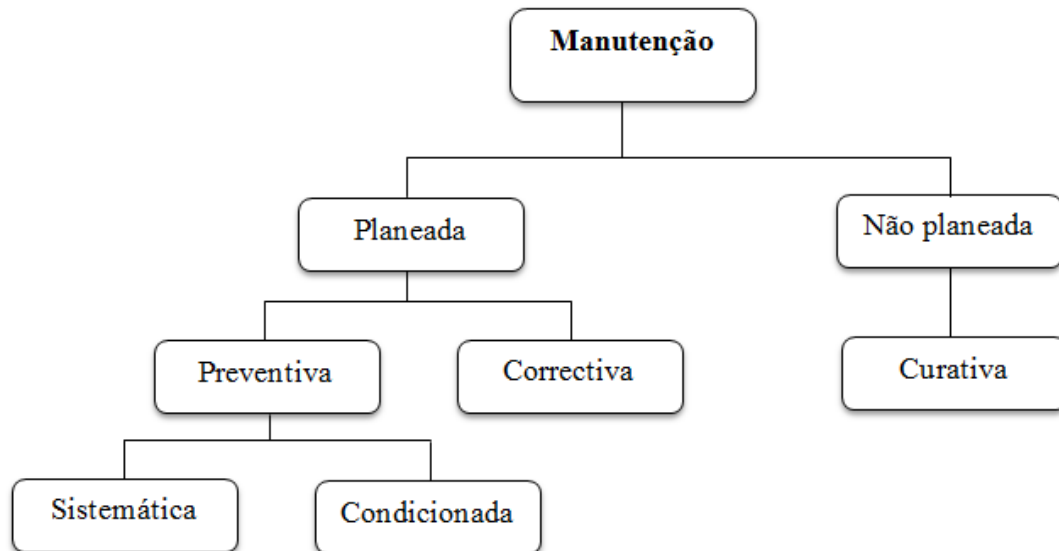


Figura 2.2- Tipos de manutenção (extraído de [Assis, 2004])

A manutenção preventiva é sempre planeada, pode ser sistemática ou condicionada.

Este tipo de manutenção aplica-se aos equipamentos que provocam uma perda de produção ou custos de paragem imprevisíveis, classificados como importantes para a empresa (equipamentos da categoria A de uma curva ABC “descrita no ponto 2.7”). Para minimizar tais paragens caríssimas organizam-se dois tipos de intervenções:

1. As intervenções sistemáticas- que se desencadeiam periodicamente (ou após um órgão atingir um determinado limite de idade) com base no conhecimento da lei de degradação aplicável a cada caso e do risco de falha assumido;
2. As intervenções por controlo de condição- que se desencadeiam no fim de vida útil dos componentes, momento em que é possível prever, medindo as tendências dos parâmetros que reflectem a sua degradação através de técnicas de controlo de condição (análise de vibrações, temperaturas e contaminantes nos óleos).

Um equipamento ou sistema da categoria A de uma curva ABC, submetido a manutenção preventiva, apresenta-se como podemos ver na figura 2.3, em que se efectua a manutenção preventiva quando o nível mínimo de fiabilidade aceitável é atingido.

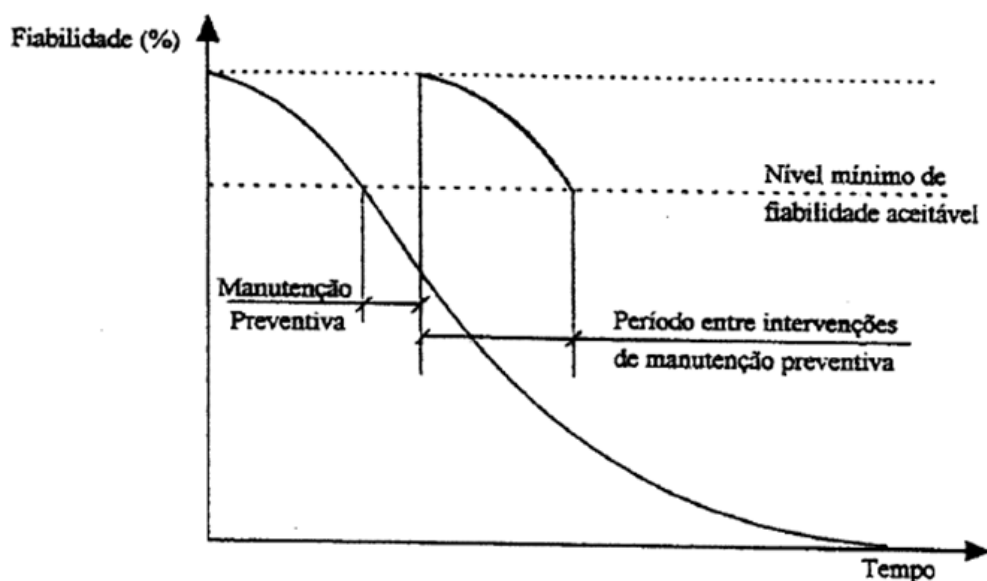


Figura 2.3-. Fiabilidade de um equipamento submetido a manutenção preventiva (extraído de [Pinto, 1994])

A colocação em prática deste tipo de manutenção necessita da decomposição das máquinas em elementos que podem sofrer manutenção. Tais elementos devem ser visitados ou substituídos regularmente com uma periodicidade estabelecida pelo estudo das leis da duração de vida dos elementos.

A manutenção preventiva sistemática obedece a um programa pré-definido que se destina a ser efectuada periodicamente, sendo os intervalos medidos numa unidade de tempo ou outro qualquer parâmetro de uso que traduza o funcionamento do equipamento (por exemplo: revisão todos os seis meses, semanal, todos os X Km, etc.)

Na manutenção preventiva condicionada, também conhecida por manutenção planeada de condição, a decisão de intervenção é tomada quando existe evidência experimental de avaria iminente ou, o estado de “saúde” do equipamento se encontra no limite de degradação admissível pré-determinado. Este tipo de manutenção é aplicado com controlo de variáveis, periodicamente ou em contínuo, que quando atingem determinado limite dão origem a uma intervenção.

Actualmente existem dezenas de métodos para determinar o estado de condição dos equipamentos, conforme refere Marimba (2000).

Como exemplo de tais métodos, podemos referir:

- Monitorização dinâmica (vibrações, emissão acústica);
- Monitorização de partículas (ferrografia, raios-x);
- Monitorização dos efeitos físicos (líquidos penetrantes, ressonância ultra-sónica,

raios-x);

- Monitorização da temperatura (termografia e temperatura de pintura);
- Monitorização de efeitos eléctricos (resistência eléctrica, potencial e corrente).

2.4. Equipamentos reparáveis e não reparáveis

Do ponto de vista da manutenção, alguns órgãos são considerados não reparáveis e outros reparáveis. Para os equipamentos reparáveis, cuja abordagem nesta dissertação se espera profunda, tem com principal grandeza de medida da fiabilidade, o tempo médio entre falhas, muito conhecido por MTBF (Mean Time Between Failure).

Reparação é um conjunto de acções físicas executadas para reestabelecer a função requerida de um equipamento em estado de falha.

Segundo Assis (2004), um órgão diz-se reparável quando, após sofrer uma avaria, é reposto nas condições que lhe permitam continuar a cumprir as funções que lhe foram atribuídas e que se encontram especificadas até à próxima avaria. Para isso é “reparado” (ajustado, lubrificado, apertado, etc.) mas dificilmente voltará às condições de novo.

Por outro lado, um órgão diz-se não reparável quando, após sofrer uma avaria, é substituído por outro igual e descartado (por exemplo, uma lâmpada de iluminação, um rolamento, uma vela de ignição).

2.5. Padrão geral de avarias

Segundo Pinto (1994), o padrão de avaria de um determinado componente ou equipamento está associado à frequência com que as avarias ocorrem ao longo do seu período de funcionamento.

A taxa de avarias λ , define-se pela seguinte função:

$$\lambda = \frac{\text{Número de avarias}}{\text{Tempo de utilização [em horas]}} \quad (2.1)$$

A representação gráfica de λ , permite visualizar o padrão de avaria do equipamento.

O padrão geral, conhecido como a “curva da banheira” apresenta de modo geral as fases da vida de um componente, figura 2.4. Embora ela seja apresentada como genérica, a curva da banheira só é válida para componentes individuais.

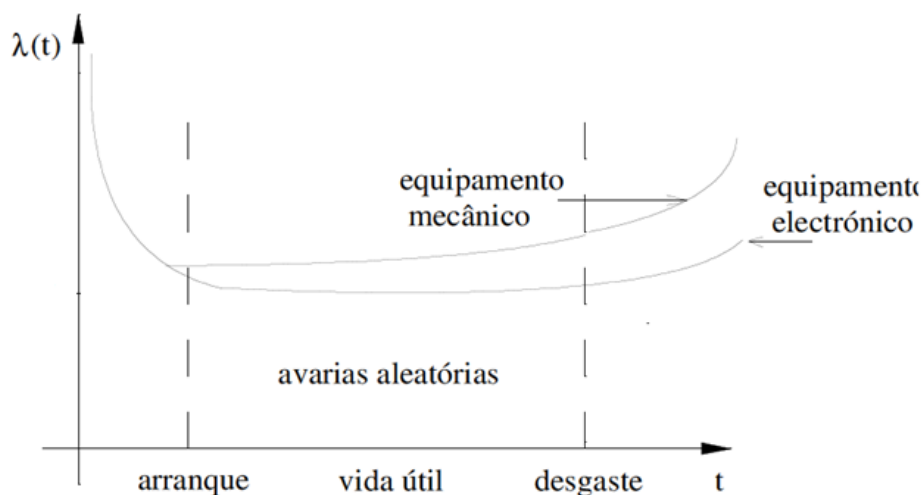


Figura 2.4-Padrão geral de distribuição de avarias “curva da banheira” (extraído de [Pereira, 2012]).

Nesta curva distinguem-se três períodos distintos da vida dos componentes de um certo equipamento, juventude (arranque), maturidade (vida útil) e velhice (desgaste).

No período da curva até ao arranque (período infantil) ocorrem muitas avarias, coincidentes com os primeiros tempos de funcionamento, devidas a deficiências de fabrico, de transporte, de instalação ou de inexperiência do operador. É o período em que nos equipamentos mecânicos se fazem a rodagem e nos equipamentos electrónicos se fazem a pré-selecção de componentes deficientes.

No período da maturidade (período de vida útil), as avarias ocorrem de forma aleatória com uma taxa de avarias aproximadamente constante. É o período de maior rendimento do equipamento.

O terceiro período é marcado por um aumento do número de avarias, assinala o aproximar do fim da vida útil do equipamento. É o período de envelhecimento ou de desgaste.

2.6. Níveis de manutenção

Os níveis de intervenção em manutenção são definidos a partir da complexidade dos trabalhos a executar e do correspondente nível técnico do executante ou equipa técnica que o virá a executar, Pereira (2001/2002).

Monchy (1991) propõe cinco níveis de manutenção que permitem identificar com precisão as acções a desencadear. Tais níveis são descritos abaixo:

1º Nível:

Natureza do trabalho- Ajustes simples previstos pelo construtor sem desmontagem do equipamento ou substituição de elementos acessíveis com toda a segurança. Executante - operador da máquina;

2º Nível:

Natureza do trabalho- Reparação através de substituição de elementos *standards* previstos para este efeito ou operações menores de manutenção preventivas (rondas).

Executante- Técnico habilitado. Em algumas situações, o operador;

3º Nível:

Natureza do trabalho- Identificação e diagnóstico das avarias, reparação por substituição de componentes funcionais, reparações mecânicas menores.

Executante- Técnico especializado no local ou equipa de manutenção;

4º Nível:

Natureza do trabalho- Trabalhos importantes de manutenção curativa, correctiva ou preventiva. Executante - Equipa de manutenção;

5º Nível:

Natureza do trabalho- Trabalhos de renovação, de construção ou reparações importantes numa oficina central ou por subcontratação.

Executante - Equipa completa de manutenção polivalente.

A definição de níveis de manutenção nomeadamente no que se refere ao executante, poderá ter definições que variarão de empresa para empresa. Com a introdução de novas filosofias de manutenção, nomeadamente com o TPM cada vez mais, operações de manutenção tem cabimento à equipa de operadores da máquina.

Cada operação ou conjunto de operações preventivas propostas para intervenção, num equipamento, incluir-se-á necessariamente num destes níveis. O mesmo se passará em relação à manutenção correctiva que venha a ter lugar durante a laboração normal.

2.7. Organização de operações de manutenção

As tecnologias mais avançadas usadas em manutenção são caras e não devem ser aplicadas de forma indiscriminada. Desta forma é preciso actuar eficiente e racionalmente. Para remediar tal situação usa-se a análise ABC.

Análise ABC

A análise apresentada na figura 2.5 consiste em classificar as avarias por ordem decrescente de custos resultantes da indisponibilidade do equipamento e estabelecer um

gráfico fazendo corresponder as percentagens de custos acumulados às percentagens de tipos de avarias acumuladas.

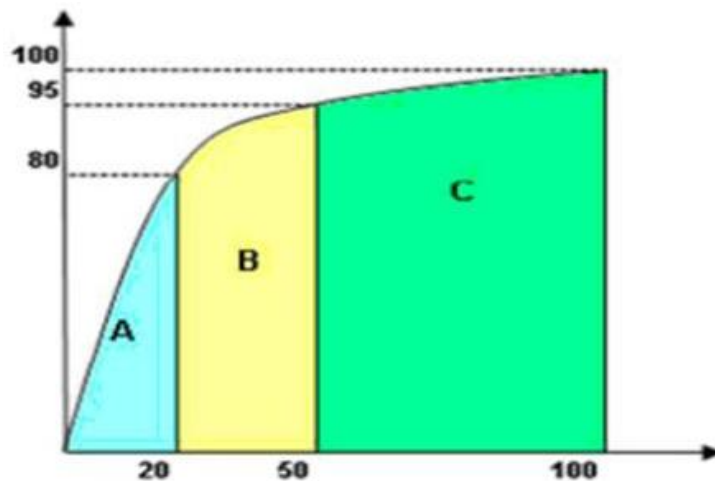


Figura 2.5- Curva ABC (extraído de [Machado, 2013])

Deste modo passamos a descrever:

Zona A: Nesta zona, na maioria dos casos, aproximadamente 20% das avarias representam 80% dos custos. É a zona de prioridade da curva ABC;

Zona B: Nesta zona da curva, 30% das avarias correspondem a aproximadamente 15% dos custos. É a zona de prioridade intermédia da curva ABC;

Zona C: Nesta parte da curva, 50% das avarias correspondem a aproximadamente 5% dos custos. É a zona de menor prioridade da curva ABC.

Os resultados obtidos permitem tomar decisões em matéria de manutenção. Para os equipamentos situados na zona A, deverá ser organizada uma política de manutenção preventiva sistemática ou preventiva condicionada com vigilância permanente dos pontos-chave. Essa análise ABC levará a que se proceda de acordo com os seguintes princípios:

- Melhorar a fiabilidade de máquinas situadas na zona A;
- Ter sempre em *stock* peças de substituição para as máquinas situadas na zona A.
- Para os equipamentos da zona B, deverá ser-se menos exigente no que diz respeito a métodos de prevenção;
- Para os da zona C, não se exigirá manutenção preventiva ou será reduzida.

Independentemente da classificação das avarias através da análise ABC, a manutenção preventiva a que uma máquina poderá estar sujeita é:

- Rondas: lubrificação, afinações;
- Sistemáticas: substituição de componentes críticos frágeis;

- Condicional: equilibragem, rolamentos, etc.

Fazendo uso da árvore de decisão que se apresenta na figura 2.6, podemos decidir a estrutura de plano de manutenção preventiva mais apropriado a executar para uma certa máquina, respondendo a certas questões seleccionadas a partir de experiências passadas.

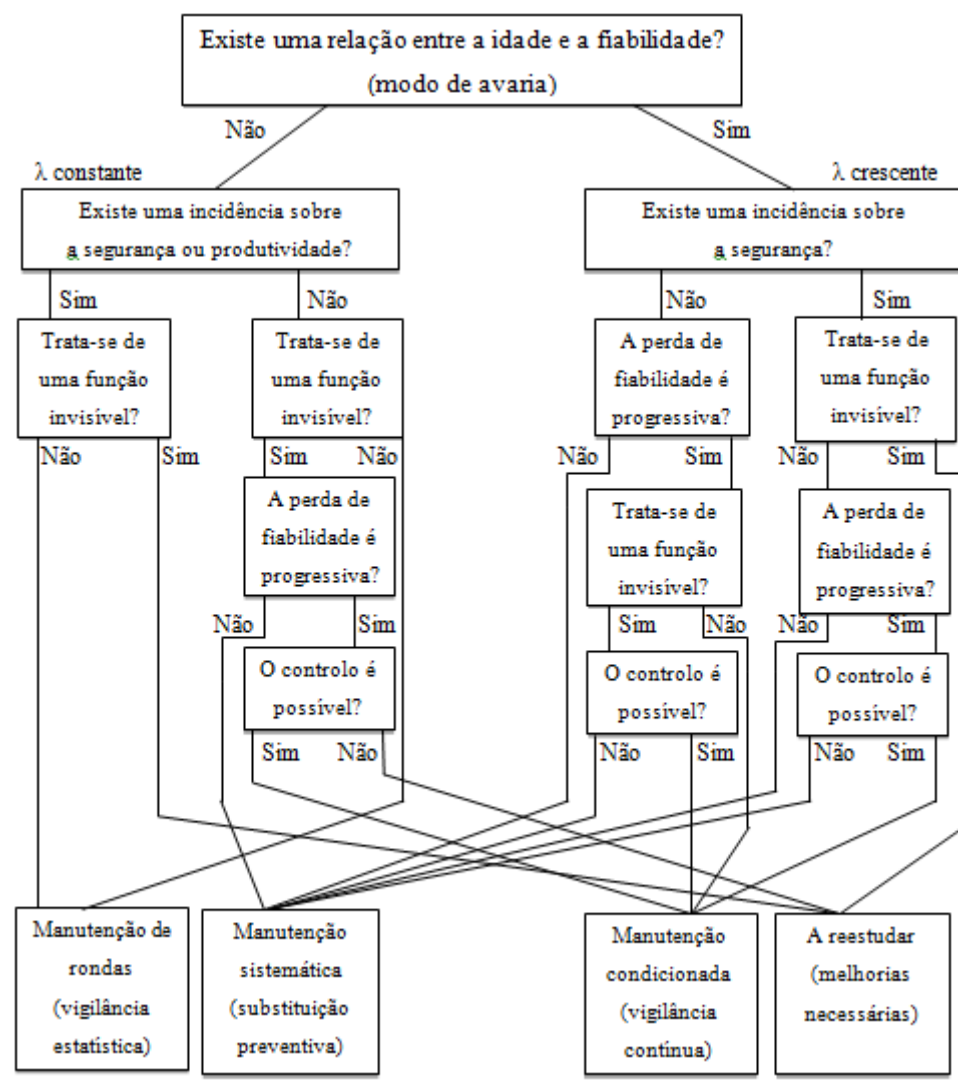


Figura 2.6- Árvore de decisão (extraído de [Ferreira, 1998])

A árvore de decisão apresentada na figura 2.6 consiste em determinar o tipo de manutenção preventiva mais apropriado, que pode ser: de rondas, sistemática, condicionada ou a reestudar.

Para a sua construção, recorre-se a certas questões seleccionadas a partir de experiências operacionais passadas ou pelos conhecimentos do fabricante e que as respostas conduzem à selecção apropriada da manutenção preventiva.

Como exemplo, teremos que perguntar se existe em termos de avarias uma relação

entre a idade e a fiabilidade do equipamento. Se sim, então a taxa de avarias é crescente, caso contrário, a taxa de avarias é constante.

Para o caso em que a taxa de avarias é constante pergunta-se se existe uma incidência sobre a segurança do pessoal ou sobre a produtividade. Em caso da resposta ser positiva e não se tratar de uma função invisível, então recomenda-se a manutenção preventiva de rondas. Mas, tratando de uma função invisível, recomenda-se reestudar o problema (avaria) para se fazerem as melhorias necessárias.

Assim, prosseguindo na mesma linha de pensamento podem determinar-se outros tipos de manutenção preventiva para cada caso específico nesta árvore de decisão.

2.8. Diagrama de Ishikawa

Segundo Farinha (2011), o diagrama de Ishikawa ou diagrama de Causa-Efeito ou ainda Espinha-de-peixe, é uma ferramenta gráfica utilizada para apoiar os decisores quer na Gestão e Controlo da Qualidade, quer na Produção e na Manutenção.

Tal diagrama proposto pelo engenheiro químico Kaoru Ishikawa em 1943 é uma ferramenta que permite estruturar hierarquicamente as causas potenciais de determinado problema (avaria) ou oportunidade de melhoria, bem como os seus efeitos sobre o equipamento.

O diagrama de Ishikawa apresentado na figura 2.7 é também conhecido como diagrama dos 6M, atendendo que, na sua estrutura, todos os tipos de problemas (avarias) podem ser classificados como sendo de seis tipos, que são caracterizados da seguinte forma, Farinha (2011):

1. Métodos;
2. Matéria-prima;
3. Mão-de-obra;
4. Máquinas;
5. Medições;
6. Meio ambiente.

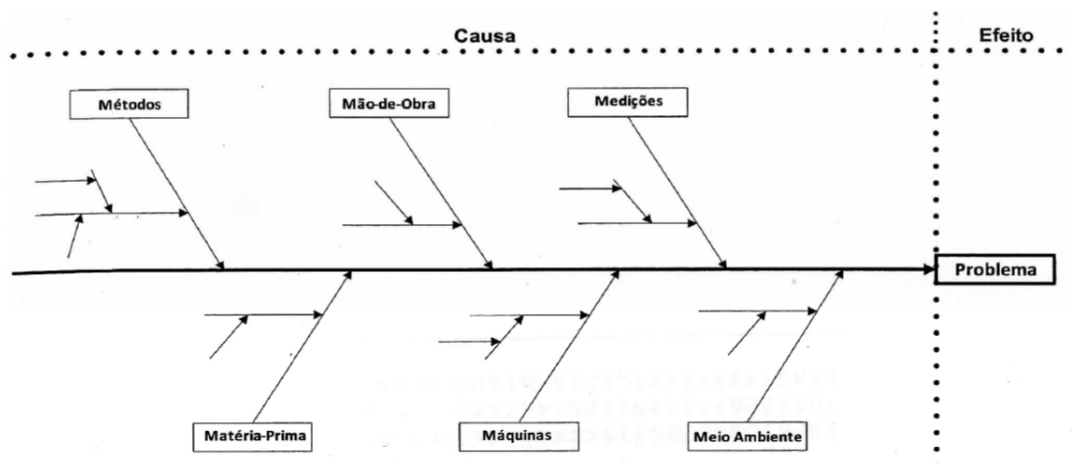


Figura 2.7- Diagrama de Causa-Efeito ou diagrama de Ishikawa para melhoria de desempenho (extraído de [Farinha, 2011])

Esta ferramenta originou mudanças na Gestão da Qualidade e foi responsável pela grande melhoria da qualidade dos produtos japoneses e, posteriormente, de muitos produtos e serviços a nível global.

Na implementação do diagrama de Ishikawa não há limites. Farinha (2011) acrescenta ainda, dizendo que as empresas podem identificar, adaptar e demonstrar em diagramas específicos a origem de cada uma das causas do efeito, bem como das causas que precederam aquelas causas do efeito, ao nível do pormenor que considerarem adequado. A riqueza de detalhes pode ser determinante para uma melhor qualidade dos resultados da análise. Quanto mais informações sobre os problemas e respectivas causas forem disponibilizadas, maiores serão as hipóteses de os solucionar.

2.9. FMECA como ferramenta de análise de fiabilidade

Dada a familiaridade na utilização da Análise de Modos de Falha, seus Efeitos e Criticidade, abreviada do inglês FMECA – *Failure Modes, Effects and Criticality Analysis*, também conhecida na literatura francesa por AMDEC – *Analyse des Modes de Deffailances, leurs Effects et de leur Criticité*. Esta ferramenta será utilizada para abordagem ao caso de estudo. É uma das técnicas utilizadas na análise de condição de falha, consistindo na análise mais detalhada possível de falha dos componentes e estabelecer os seus efeitos e sua criticidade. Esta técnica põe ênfase na identificação das causas das falhas e na correcção para melhoria da fiabilidade. Tratando-se de uma ferramenta que é parte integrante do processo de concepção, mas também muito útil nas restantes fases do ciclo de vida de um equipamento, esta deve ser actualizada

regularmente de forma a reflectir as evoluções e ou mudanças no equipamento. O uso desta técnica revela-nos informações que podem minimizar os riscos, definindo testes específicos, pontos de inspecção da qualidade, acções de manutenção preventiva, etc.

Gonçalves (2006) refere que a FMECA pode ser utilizada para:

- Comparar várias alternativas de concepção e configurações;
- Confirmar a capacidade do sistema para realizar os critérios de fiabilidade pretendidos na fase de concepção;
- Fornecer dados de entrada para estabelecer acções correctivas prioritárias.

A FMECA é um método de análise provisional que permite: recensar as falhas, estimar os riscos e determinar acções correctivas na concepção, construção e exploração de qualquer equipamento, com o objectivo de assegurar a segurança em funcionamento, traduzido pela obtenção da fiabilidade, manutibilidade, disponibilidade e a qualidade do produto fabricado.

Etapas de realização da FMECA

Gonçalves (2006) decompõe a realização da FMECA em cinco etapas principais:

- **Inicialização**: etapa em que se faz a decomposição funcional e material, fixando assim um limite de estudo. Por exemplo, na análise da função de um robot de carregamento e descarregamento, o limite de estudo pode ser o sistema de fixação da peça. Para esta fase é necessário ter um caderno de encargos bem estruturado e documentações técnicas de um equipamento similar existente e utilizado em condições ambientais e de operação similares àquelas que pretende abordar.
- **Análise dos modos de falha e seus efeitos (FMEA)**: etapa que estabelece para cada órgão/componente a estudar, a descrição sintetizada da função (1); o modo de falha (2), [perda total da função ou função degradada]; as causas (3), [acontecimento inicial que conduz ao modo de falha]; os efeitos (4), [por exemplo: paragem de produção, não qualidade do produto fabricado, segurança do bem ou das pessoas], e por fim a detecção (5), [disposições tidas com a finalidade de evitar que os efeitos se produzam]. A detecção pode ser sobre a causa ou sobre o modo. Na figura 2.8 propõe-se o esquema da FMECA que será usado no caso prático, no capítulo 3.

AMDEC n.º: _____

Sub_Conjunto / Sistema: _____

Autor: _____

Data criação: _____

Data actualização: _____

Grupo de trabalho: _____

Função	Modo potencial de falha	Efeito potencial	Gravidade	Causas potenciais / Encadeamento	Ocorrências	Prevenção	Deteção	Deteção

Figura 2.8 – Esquema da FMECA proposto (extraído de [Gonçalves, 2006])

- **Criticidade**: Nesta etapa são indicados a frequência de ocorrência **F** (probabilidade que a causa de falha aparece e que desencadeie o modo), a gravidade **G** (valor relativo ao efeito de cada falha, e se exprime em termos de manutibilidade, qualidade das peças produzidas – conformidade, segurança, etc.), não detecção **D** (probabilidade que a causa não seja detectada ou que o modo chegue ao utilizador. Este índice sanciona a ineficácia da detecção da causa ou do modo).
- **Acções correctivas**: nesta etapa o objectivo é determinar acções correctivas que permitem reduzir o número de pontos críticos. As acções podem se subdividir em: acções do fornecedor (ligadas a qualidade do produto fabricado, fiabilidade intrínseca dos componentes, manutibilidade [acessibilidade, montagem, desmontagem, ajuda ao diagnóstico], segurança dos bens e das pessoas); acções do cliente (ligadas às disposições de manutenção, formação do fabricante [informações nos postos de trabalho, documentação técnica, formação específica]). Em termos de segurança, em que o valor **G=5** estabelecer acções com vista à diminuição para **G** menor ou igual a 4. Em caso de impossibilidade de ter **G** menor ou igual a 4, então é necessário estabelecer acções com vista a obter **F=1** e **D=1**.

2.10. Manutibilidade

A maioria dos sistemas sofre manutenção, isto é, são reparados quando avariaram (manutenção curativa) ou têm acções preventivas quando atingem um determinado grau de degradação (manutenção preventiva).

A manutibilidade pode ser descrita como a probabilidade de um equipamento ser repostado a funcionar ao fim de um tempo dado, após a falha, desde que as operações de manutenção tenham sido conduzidas em condições bem definidas.

A manutibilidade é medida pelo tempo médio para efectuar a reparação (MTTR- *Mean Time To Repair*) e influenciada pelos seguintes factores:

- Intermutabilidade dos componentes susceptíveis de desgaste ou avaria;
- Normalização dos sistemas e componentes;
- Possibilidade de inspecção, verificação e controlo dos componentes.
- Montagem e afinação.

A manutibilidade de um sistema depende do projecto desse sistema, porque é na fase de projecto que são determinados os parâmetros, como as acessibilidades aos componentes, a facilidade de diagnóstico, as acções preventivas necessárias, a lubrificação, a limpeza, etc.

Na figura 2.9, representa-se a relação manutibilidade e disponibilidade de um equipamento reparável

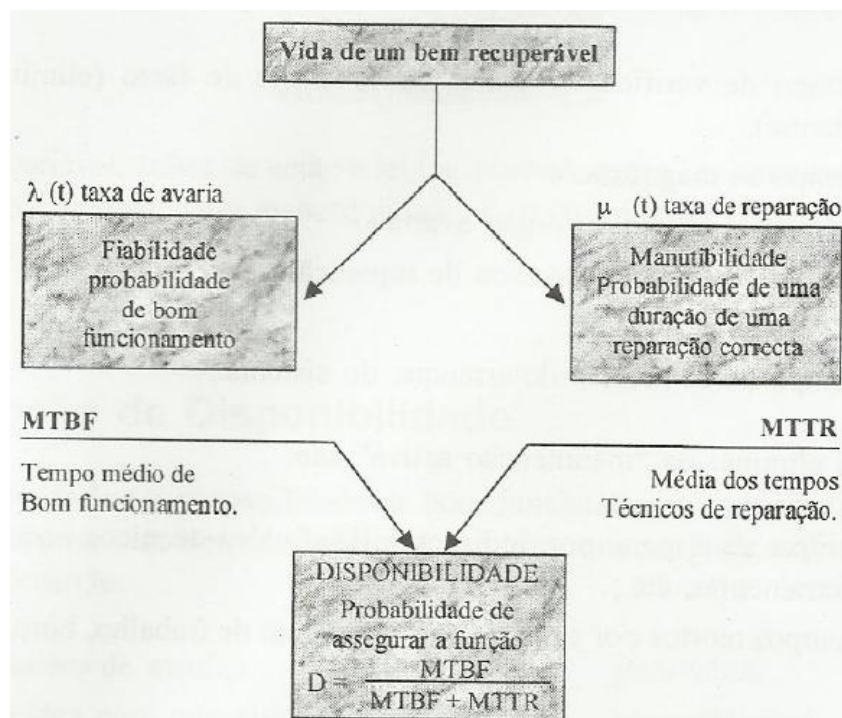


Figura 2.9-Manutibilidade e disponibilidade (extraído de [Ferreira, 1998])

Neste caso, considerou-se MTTR- média dos tempos técnicos de reparação, em que se fazem intervir os tempos gastos em Manutenção curativa.

Os TTR (tempos técnicos de reparação) compõem-se geralmente do somatório dos seguintes tempos, Ferreira (1998):

- Tempo de verificação que a avaria existe de facto (eliminar o falso alarme);
- Tempo de diagnóstico;
- Tempo de acesso ao órgão avariado;
- Tempo de substituição e/ou de reparação;
- Tempo de montagem;
- Tempo de controlo e de arranque do sistema.

A ordem de grandeza dos tempos de reparação depende do sistema a reparar, dos aparelhos de manutenção, da documentação e da habilidade do pessoal. O MTTR não leva em conta as demoras de aprovisionamento das peças de reserva. Inclui apenas as operações de diagnóstico e de reparação, que são os seguintes:

- Localização do defeito;
- Isolamento do defeito;
- Acesso ao elemento defeituoso;
- Substituição do elemento defeituoso;
- Afinação e ensaios.

2.11. Disponibilidade

A disponibilidade, designada por D (ver figura 2.9), é definida como a aptidão de um equipamento ou sistema reparável funcionar correctamente num instante qualquer, em condições determinadas de exploração e manutenção.

A disponibilidade depende da fiabilidade e da manutenção. Aumentar a disponibilidade, que é o objectivo principal dos serviços de manutenção, implica um aumento da fiabilidade dos equipamentos e a diminuição das durações de intervenção de manutenção.

Um equipamento disponível é aquele que se encontra pronto a ser utilizado. Segundo O'Connor (1995), a disponibilidade depende:

- Do número de falhas - - - - - Fiabilidade;
- Da rapidez de reparação - - - - - Manutibilidade;
- Dos procedimentos definidos pela manutenção - - Manutenção;
- Da qualidade dos meios empregues - - - - - Logística.

Segundo Assis (2004), a disponibilidade é um indicador que relaciona directamente com o MTBF (tempo médio de bom funcionamento), sendo representado por D , existindo dois tipos de disponibilidade:

- Disponibilidade intrínseca, D_i ;
- Disponibilidade operacional, D_o .

Cabrita (2013) refere que, sendo a fiabilidade um indicador que resulta não só do projecto e da construção, mas também das condições de funcionamento dos equipamentos, condiciona a frequência com que as falhas ocorrem. Todavia, se os equipamentos dispuserem de boas características de manutibilidade, as avarias decorrentes das falhas serão reparadas de forma fácil e rápida, minimizando as suas consequências. Caso contrário, pode suceder que, se disponha de um equipamento de elevada fiabilidade mas que, devido a características de manutibilidade desfavoráveis, esse equipamento venha a ser alvo de avarias com graves consequências.

A manutibilidade é um termo técnico associado às actividades de manutenção, que traduz a preocupação em conseguir que um determinado equipamento, quando sujeito a intervenções de manutenção, planeada ou não, proporcione facilidade de acesso aos componentes a reparar ou substituir, condições de segurança, precisão e economia.

O indicador de desempenho D_i - disponibilidade intrínseca ou teórica, associado aos construtores dos equipamentos através das diversas fases de concepção, dimensionamento e construção, é determinado através da seguinte expressão:

$$D_i = \frac{MTBF}{MTBF+MTTR} \quad (2.2)$$

Em termos quantitativos, é importante salientar que o tempo médio, de bom funcionamento, entre falhas MTBF (*Mean Time Between Failures*) -é um parâmetro de fiabilidade, sendo igual ao inverso da taxa de falhas (taxa de ocorrências de manutenção correctiva) λ , enquanto que o tempo médio de reparação (MTTR - *Mean Time To Repair*) é um parâmetro de manutibilidade, sendo igual ao inverso da taxa de reparação μ . Comparando a fiabilidade com a manutibilidade, os tempos MTBF e MTTR equivalem-se, o mesmo sucedendo com λ e μ . Note-se que MTBF e MTTR representam um tempo de período de uma ocorrência, enquanto que λ e μ são as suas frequências, daí as respectivas relações inversas apresentadas nas expressões 2.3 e 2.4:

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} \quad (2.3)$$

$$MTTR = \frac{1}{\mu} \quad (2.4)$$

Por substituição em (2.2), vem:

$$D_i = \frac{\mu}{\mu+\lambda} \quad (2.5)$$

Analisando a expressão 2.2, constata-se que o valor de D_i situa-se entre zero (momento totalmente indisponível, por se ter $MTBF=0$), e a unidade (equipamento totalmente disponível, por se ter $MTTR=0$). Na prática, esta última situação, só possível teoricamente, nunca sucede, pois corresponderia a terem-se equipamentos que nunca falhassem.

É de lembrar que o MTBF é medido entre o instante inicial de funcionamento e o instante de ocorrência de uma incidência que ocasione uma paragem no funcionamento normal de uma máquina (indisponibilidade). E o MTTR refere-se ao tempo durante a indisponibilidade da máquina. A figura 2.10 apresenta as relações disponibilidade, MTBF e MDT.

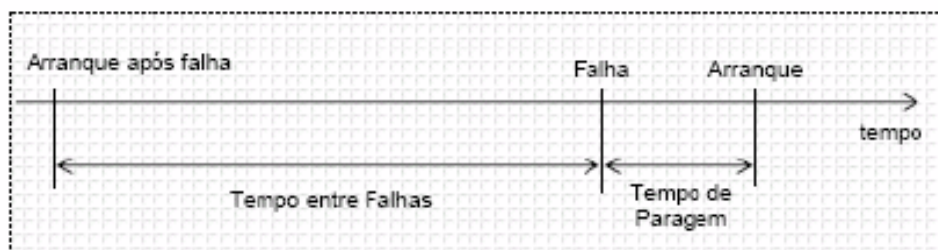


Figura 2.10– Disponibilidade, MTBF e MDT (extraído de [Gonçalves (2006)])

Contrariamente à disponibilidade intrínseca, que, em termos convencionais considera exclusivamente as intervenções de manutenção correctiva, a disponibilidade operacional tem em conta todas as intervenções de manutenção - correctivas, preventivas e melhorativas, sendo determinada através da seguinte expressão:

$$Do = \frac{MTBM}{MTBM + MMDT} \quad (2.6)$$

Representando MTBM *Mean Time Between Maintenance* (tempo médio, de bom funcionamento, entre intervenções de manutenção, correctivas e planeadas) e MMDT *Mean Maintenance Down Time* (tempo médio de imobilização para intervenções de manutenção). Na prática, a função manutenção poderá (ou deverá) sempre que possível participar de forma activa na realização do projecto e construção dos bens, uma vez que é nestas fases que se pode intervir nas características intrínsecas dos bens, no que respeita a fiabilidade e à manutibilidade, ou seja, na sua disponibilidade intrínseca, que irá influenciar a disponibilidade operacional, da responsabilidade da função manutenção.

Por conseguinte, como se mostra na figura 2.11, a disponibilidade operacional de um bem é influenciada pela disponibilidade intrínseca e pelas políticas e logísticas da manutenção adoptadas para esse bem, Cabrita (2013).



Figura 2.11- Relação entre a disponibilidade intrínseca, função manutenção e a disponibilidade operacional (extraído de [Cabrita (2013)])

2.12. Fiabilidade

A fiabilidade é a característica de um dispositivo expressa pela probabilidade que esse dispositivo tem de cumprir uma função requerida em condições de utilização e por um certo período de tempo determinado. A cessação do seu funcionamento, nestas condições, denomina-se falha, como refere AFNOR X60-501 (1987).

Numa primeira análise, a fiabilidade dos sistemas assenta na predição do seu desempenho e comportamento futuro, assumindo um papel crítico durante a fase de concepção e projecto dos equipamentos ou sistemas.

É de referir que a fiabilidade e a manutibilidade têm conceitos diferentes:

- Um equipamento pode ser muito fiável e ter uma má manutibilidade, se os tempos de reparação forem muito longos;
- Um equipamento que apresenta avarias frequentes de resolução rápida, embora pouco fiável tem uma boa manutibilidade.

2.12.1. A fiabilidade na concepção de máquinas

É necessário compreender bem que a fiabilidade e a manutibilidade de uma máquina são estabelecidas desde o início do projecto. Por isso, desde muito cedo devem ser feitas perguntas como:

- Qual será a utilização da máquina e qual o desejo do cliente em termos de fiabilidade?
- Qual a fiabilidade que se pode obter com uma ou outra solução?
- Qual a manutibilidade que se pode obter?

Tais perguntas têm o objectivo de detectar pontos fracos e conceber um equipamento homogéneo.

Uma vez que a fiabilidade de uma máquina é o resultado que provém da sua concepção, do seu fabrico/montagem e da sua utilização, para assegurar uma boa fiabilidade é necessário:

- Definir objectivos;
- Tomá-los em conta aquando da concepção;
- Seguir o fabrico/montagem da máquina para assegurar permanentemente que o nível de fiabilidade corresponda aos objectivos;
- Seguir a utilização da máquina para verificar que a fiabilidade é a prevista na concepção.

2.12.2. Factores relacionados a fiabilidade

O custo associado ao aprovisionamento é o conjunto das despesas realizadas para o adquirir (custos relativos aos materiais, valor pago ao fornecedor e custos associados ao processo de aquisição, por exemplo: os gastos no processamento das encomendas em telefone, transporte e recepção, facturas, etc.) e ainda o fazer funcionar e para o manter em estado de funcionamento e o controlo da qualidade.

Quanto mais reduzida for a fiabilidade, maior será o custo de manutenção, mas o preço de venda de um equipamento aumenta muitas vezes com a reputação da fiabilidade do construtor. É por isso que o custo de aprovisionamento mínimo corresponde em geral a uma fiabilidade intermédia.

2.12.3. Definição dos objectivos de fiabilidade

Existem diferentes formas de apresentar os objectivos de fiabilidade. Os objectivos mais correntes são:

- Um valor de MTBF alto (ou taxa de falha baixo);
- Maior nível de disponibilidade dos equipamentos;
- Um número médio de reparações por período de tempo.

Os objectivos e a fiabilidade das soluções tomadas utilizam a técnica da estimação provisória, que comporta:

1. A análise de árvore de causas e/ou modos e mecanismos de falha;
2. Modelização mecânica do sistema (mecanismo de falha e diagrama de fiabilidade);
3. Recolha de dados da fiabilidade dos constituintes do sistema.

2.13. Manutenção Produtiva Total

Segundo Bravo (2013), a manutenção produtiva total, abreviada do inglês *TPM-Total Productive Maintenance*, é uma filosofia de gestão que envolve planeamento, execução, organização, coordenação e controle, que foi introduzida no Japão no início da década de 1970, com forte envolvimento da JMA, *Japan Management Association*. A TPM através de investimento nas pessoas e no melhoramento dos equipamentos e dispositivos, alcança a eficácia da própria estrutura organizacional da empresa. O investimento nas pessoas caracteriza-se por envolver o pessoal da produção activamente na manutenção, pois é o operador quem melhor conhece o equipamento e lhe pode criar as melhores condições de funcionamento e as melhores condições para a prevenção de avarias.

A TPM encontra-se implantada em vários países e com resultados notáveis. O seu sinal exterior mais distintivo é envolver o pessoal da produção activamente na manutenção, explorando o facto de o operador ser quem melhor conhece a máquina e, portanto, quem detém posição soberana para lhe criar as melhores condições de funcionamento e proporcionar as melhores condições de prevenção de avarias.

Na sua aplicação a TPM é a manutenção conduzida com a participação de todos, desde os operadores das máquinas e do pessoal da manutenção, até ao nível superior da gestão, passando pelos quadros intermédios.

A palavra “Total” em TPM aparece-nos com três significados relativos a três das

principais características da TPM, Cabral (1998):

1. **Total Eficiência**- tentar atingir a eficiência económica máxima, ou seja, o maior lucro;
2. **Total Manutenção/Prevenção**- Dar maior importância às actividades de manutenção/prevenção, para atingir o óptimo em manutibilidade. Significa o estabelecimento de um plano de manutenção para toda a fábrica e durante toda a vida útil dos equipamentos;
3. **Total participação**- Dar ênfase à auto-manutenção efectuada pelos operadores das máquinas e promover a motivação, formação e participação dos operadores de produção e manutenção.

As experiências da TPM levadas a cabo em inúmeras empresas têm mostrado que após a sua implementação, se conseguem resultados verdadeiramente únicos:

- Redução da taxa de avarias até 1/50 do seu valor inicial;
- Aumento da disponibilidade dos equipamentos da ordem dos 17 a 26%;
- Redução de defeitos (provocados pelo equipamento) em mais de 80%;
- Aumento da produtividade da mão-de-obra de 40 a 50%.

2.13.1. Perdas que a TPM permite eliminar

Embora existam, no total, 16 perdas, as que são conhecidas como as sete grandes perdas são as seguintes, Cabral (1998):

1. Avaria/falha- paragens acidentais;
2. Mudança de produto -*set up*;
3. Perdas em moldes e ferramentas;
4. Pequenas paragens e funcionamento sem carga;
5. Quebra de velocidade/aumento do tempo de ciclo;
6. Produtos defeituosos;
7. Arranque das máquinas.

2.13.2. Programa TPM

O desenvolvimento de um programa TPM depende do tipo de empresa, do nível de manutenção e dos requisitos da instalação fabril. Contudo é possível definir alguns pontos base para a implementação do TPM:

- Melhorar a eficiência dos elementos de todos os equipamentos através da eliminação das sete grandes perdas;
- Implementar um programa de manutenção autónoma (pelos operadores fabris) com o objectivo de fomentar o espírito de responsabilidade pela condição do equipamento e desenvolver a prática de diagnóstico;
- Planear e programar a manutenção em concordância com a produção;
- Formar os elementos das equipas de manutenção, visando o aprofundamento das técnicas de manutenção;
- Promover a manutenção desde as fases de concepção/projecto e montagem.

Com estes pontos, a empresa eliminará gradualmente as sete grandes perdas, estabelecerá uma relação “mais efectiva” entre o operador e a máquina e manterá o equipamento nas melhores condições de funcionamento.

2.14. Manutenção Centrada na Fiabilidade

Segundo Dhillon (2006), a manutenção centrada na fiabilidade, do inglês *Reliability Centered Maintenance*, é designada pela sigla RCM e tem o objectivo de otimizar os custos e a eficácia da manutenção através da combinação dos factores, política e custos da manutenção, que prioritariamente conduzam a elevados níveis de segurança do pessoal e instalações, à protecção do meio ambiente e, simultaneamente, a uma adequada disponibilidade dos equipamentos para a produção. É uma metodologia de trabalho destinada a eleger, para cada equipamento, em função do seu grau de criticidade o tipo de manutenção a adoptar de modo a se atingir os objectivos técnico-económicos da gestão.

Os principais objectivos do RCM, segundo Dhillon (2006), são:

- Estabelecer prioridades que possam facilitar a manutenção preventiva de uma forma efectiva;
- Planear tarefas de manutenção preventiva que possam restabelecer a segurança e a fiabilidade aos níveis originais do equipamento em deterioração;
- Recolha de informação necessária para melhorar os equipamentos que demonstrem um nível de fiabilidade original insatisfatório;
- Atingir os três pontos anteriores com o menor custo total (incluindo o custo de avarias residuais e custo de manutenção).

2.15. Qualidade em manutenção avaliada pela disponibilidade dos equipamentos

Uma boa ou má qualidade do serviço prestado pela manutenção num determinado intervalo de tempo está relacionada com o número e tempo de duração das avarias ocorridas e portanto com a disponibilidade dos equipamentos, como se refere Frey (1989).

Deste modo, pode dizer-se que a variação da qualidade em manutenção poderá exprimir-se pela variação do valor da disponibilidade.

Para a análise da variação da disponibilidade, tem-se em conta:

- MTBM- *Mean Time Between Maintenance* (tempo médio entre acções de manutenção);
- MDT- *Mean (Maintenance) Down Time* (tempo médio de paragem para acções de manutenção).

O valor da disponibilidade operacional é obtido pela relação dos factores MTBM e MDT:

$$Do = \frac{MTBM}{MTBM+MDT} \quad (2.7)$$

Em que os factores MTBM e MDT incluem as paragens para manutenção preventiva e correctiva (avarias).

A aplicação de uma política de qualidade em manutenção implicará um aumento do valor do índice de disponibilidade operacional Do , o que apenas será possível optimizando a relação acima citada definida por Do . Para otimizar tal relação é necessário que se verifiquem duas condições que nos permitirá determinar os factores que melhoram a qualidade do serviço de manutenção. Tais condições são:

1. Aumento do MTBM

O aumento do tempo médio entre intervenções de manutenção (preventiva ou por avaria) pode ser conseguido através das seguintes acções:

- Escolha de equipamento de elevada fiabilidade, o que garantirá períodos longos de funcionamento sem avarias;
- Estudo e análise sistemática de avarias com o objectivo de introduzir melhorias na fiabilidade através de melhoramentos nos equipamentos;
- Execução dos trabalhos de manutenção com qualidade técnica, o que exige pessoal executante com boa qualidade profissional. Assim, se evitarão avarias e

consequentemente paragens de produção originadas por deficiente execução técnica;

- Implantação de planos de manutenção preventiva bem elaborados que permitam maximizar os períodos de funcionamento, privilegiando a manutenção condicionada como forma de alcançar tal objectivo.

2. Diminuição do MDT

A diminuição do tempo médio de paragem para intervenções de manutenção poderá ser alcançado pelas medidas e acções seguintes:

- Escolha e utilização de equipamentos com elevado nível de manutibilidade, o que, melhorando a sua acessibilidade e desmontagem, tornará as intervenções mais rápidas;
- Disponibilidade adequada de peças de reserva, materiais e ferramentas, de modo a evitar tempos de espera;
- Normalização dos equipamentos permitindo a sua intermutabilidade e por consequência o encurtamento dos tempos de intervenção;
- Utilização de métodos de diagnóstico de avarias e de execução devidamente estudados e de sistemas eficazes de preparação e programação dos trabalhos, o que permitirá reduzir os tempos de diagnóstico, de reparação e de manutenção preventiva em paragem;
- Elevada motivação do pessoal, conduzindo a altos níveis de produtividade;
- Disponibilidade ajustada de materiais para as intervenções e de meios humanos (com formação e qualificação adequada).

2.16. Métodos estatísticos na fiabilidade

A distribuição discreta descreve quantidades aleatórias (dados de interesse) que podem assumir valores particulares e os valores são finitos.

Contrariamente a distribuição discreta, a distribuição contínua pode assumir inúmeros valores num intervalo de números reais e é medida numa escala contínua.

Na presente dissertação usou-se a distribuição contínua. Assim, as leis contínuas mais usuais, em fiabilidade, são as seguintes (Farinha, 2011):

- **Lei exponencial negativa:** Lei com um parâmetro – λ (taxa de avarias).
 - Esta lei aplica-se quando a taxa de avarias λ , é sensivelmente constante num dado intervalo de tempo;

- **Lei Normal logarítmica:** Lei com dois parâmetros – m (média) e σ (desvio-padrão).
 - Uma variável aleatória t tem uma distribuição Normal Logarítmica, com parâmetro μ e σ , se $\ln(t)$ tiver uma distribuição normal com parâmetro μ e σ ;
- **Lei de Weibull:** Lei com três parâmetros- β (parâmetro de forma), η (parâmetro de escala) e γ (parâmetro de posição).
 - A lei de Weibull é muito flexível porque, sendo uma lei de três parâmetros, permite ajustar os diversos tipos de resultados experimentais e operacionais.

2.17. Distribuição de Weibull

A distribuição de Weibull, nomeada pelo seu criador Waloddi Weibull, é uma distribuição de probabilidade contínua, usada em estudos de tempo de vida de equipamentos e estimativa de falhas.

A função de Weibull, segundo Assis (2004), é largamente usada na prática de engenharia, devido à sua versatilidade, sobretudo na descrição de fenómenos de vida de componentes elementares de sistemas (órgãos), ao longo de todo o seu ciclo de vida.

Como exemplos de aplicação da função de Weibull, citam-se os seguintes: tubos de descarga electrónicos, relés, chumaceiras antifricção, engrenagens e muitos outros componentes mecânicos e eléctricos. A função de Weibull é, também, adequada para descrever fenómenos de vida em situações de corrosão, desgaste e fadiga.

2.18. Fiabilidade em elementos mecânicos e electrónicos

A estatística de avarias nos componentes electrónicos segue a distribuição de Poisson, ou seja, que as avarias se manifestam de forma completamente aleatória, e que a taxa de ocorrência é independente do tempo durante o período de vida útil.

Por outro lado, a experiência mostrou que a distribuição Poisson não é conveniente para componentes mecânicos onde pode acontecer que, para determinados componentes, o período de avarias precoces (mortalidade infantil) seja tão prolongado que se junte ao período de vida útil, e que a taxa de avarias nunca seja constante. Para isso, a distribuição apropriada é a de Weibull.

Segundo Ferreira (1998), esta distribuição é muito flexível, porque, sendo uma lei a três parâmetros, permite ajustar correctamente todos os tipos de resultados experimentais e operacionais. A sua utilização implica o conhecimento de TBF

(intervalo entre duas avarias) dos equipamentos que se pretendem analisar.

Esta distribuição representa mais fielmente o comportamento dos componentes mecânicos e electromecânicos.

A função de repartição $F(t)$ é expressa por:

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad (2.8)$$

A fiabilidade correspondente é expressa por:

$$R(t) = 1 - F(t) \quad (2.9)$$

Substituindo $F(t)$ na expressão anterior obtém-se:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad (2.10)$$

Onde:

t é a variável aleatória, ou seja, duração em (horas) ou um número de operações (pulsção de um relé);

β é o parâmetro de forma (permite situar determinado órgão ou equipamento numa das três fases da curva da banheira). Este parâmetro pode assumir diversos valores em relação directa com o modo de avaria;

Para $0 < \beta < 1$, a distribuição tipifica a fase de mortalidade infantil na clássica curva de banheira;

Para $\beta = 1$, são tipificados os modos de avarias característicos da fase aleatória da curva da banheira (maturidade);

Para $1 < \beta < 4$, é tipificada a terceira fase da curva da banheira.

γ é o parâmetro de posição.

Para $\gamma < 0$, as avarias começam antes da origem dos tempos;

Para $\gamma > 0$, há sobrevivência total entre $t=0$ e $t=\gamma$;

Para $\gamma = 0$, as avarias começam na origem dos tempos.

η é o parâmetro de escala (indica o número de horas de funcionamento, em que a maioria dos equipamentos é afectado por avaria).

A distribuição de weibull aplica-se quando $t \geq \eta$.

A determinação dos parâmetros é feita a partir dos dados retirados do registo histórico de avarias e reparações do equipamento, calculando-se os TBF (tempos de bom funcionamento), ou as durações de vida dos componentes e as respectivas frequências acumuladas.

2.19. Controlo em manutenção

O controlo em manutenção encerra o ciclo do processo de planeamento. Compete-lhe informar os intervenientes no processo dos resultados obtidos e manter actualizados os ficheiros dos registos históricos e contabilísticos da manutenção.

As funções do controlo podem sistematizar-se nos seguintes pontos:

- Informar o planeamento:
 - dos trabalhos concluídos;
 - dos trabalhos pendentes (adiados);
 - dos trabalhos novos resultantes da execução dos programados;
 - dos desvios ocorridos;
 - de outras situações.
- Actualizar o registo histórico;
- Actualizar os registos contabilísticos;
- Informar os serviços de contabilidade da empresa sobre o apuramento dos custos dos trabalhos (mão-de-obra, materiais, peças de reserva, serviços de terceiros, etc.).

Para cada equipamento é necessário efectuar dois tipos de registos:

- A. Registo histórico;
- B. Registo contabilístico.

A. Registo histórico

Todos os equipamentos devem ter o seu registo histórico, no qual deve constar:

- Identificação e localização do equipamento;
- Todas as intervenções de manutenção, resolutive, preventiva ou de melhoramento;
- Data de cada participação de avaria, sua descrição e respectiva acção correctiva, identificação dos componentes substituídos, mão-de-obra gasta, tempo de imobilização e custos da reparação (mão-de-obra e materiais).

O registo histórico é essencial não só para apoio à pesquisa de avarias, mas também como apoio a tomada de decisão de carácter económico (oportunidade de proceder à substituição do equipamento quando a sua manutenção se tornou não económica). Como tal, pode ser explorado para:

- **Fiabilidade**- determinação das leis de fiabilidade, perfil de avaria, taxas

de avaria, etc.;

- **Disponibilidade** - determinação da disponibilidade em condição estável do equipamento;
- **Métodos** - determinação de pontos fracos do equipamento (para melhoramento) e de avarias mais frequentes (para melhor preparação de materiais, mão-de-obra, documentos, etc.);
- **Gestão de stock**- determinação dos consumos habituais de peças (definição dos parâmetros de gestão);
- **Gestão da manutenção** - determinação de custos por equipamentos, por especialidades, por tipo de avarias, por tipo de intervenção, etc.

B. Registo contabilístico

Este registo é o apoio fundamental para tomadas de decisão relativas a substituição de equipamentos, subcontratação de serviços, etc. Deverá conter a informação sobre:

- Custo de aquisição;
- Custo de cada intervenção;
- Valor actualizado do equipamento (tendo em conta as amortizações e valorizações devidas a melhoramentos introduzidos).

2.20. Histórico de manutenção

O histórico é um arquivo organizado cronologicamente, feito para cada equipamento de manutenção, que contém toda a informação sobre a sua manutenção e situação operacional. É o elemento mais valioso de um sistema de gestão da manutenção na medida em que contém informação fidedigna sobre o funcionamento do equipamento na sua situação operacional.

É com base na informação do histórico de um equipamento que se tem conhecimento acerca do seu comportamento ao longo do tempo e assim o responsável pela manutenção poderá, através do seu estudo, desenvolver soluções que introduzam melhorias na manutibilidade de equipamentos que venham reduzir os custos de manutenção e aumentar a sua disponibilidade para a produção.

A partir do registo histórico é possível estudar as avarias, o tipo e frequência de ocorrências, para estabelecer o tipo de manutenção mais adequado, tendo em vista a optimização de custos da manutenção e a disponibilidade operacional.

Para que o histórico possa ser um elemento eficaz e permitir uma apreensão rápida

da realidade, deve ser bem sistematizado e sucinto, denotando porém, todos os eventos chave da manutenção. Os campos de informação do histórico de um equipamento de manutenção incluirão, Cabral (1998):

- Data da realização e, quando aplicável, a leitura do contador do equipamento;
- Tipo de trabalho segundo a terminologia utilizada na Empresa (lubrificação, calibração, pequena reparação, etc.) e respectivo enquadramento no tipo de manutenção (Melhoria, Preventiva Sistemática, Preventiva Condicional ou correctiva);
- Descrição do trabalho realizado (título da ordem de trabalho);
- Tempos: dedicado à intervenção e período de intervenção;
- Mão-de-obra total aplicada e custos;
- Custos das peças e materiais;
- Custo dos serviços;
- Custo total, igual à soma dos três anteriores;
- Correlação sintoma/causa, no caso das correctivas.

Estes elementos proporcionam toda a informação de natureza económica associada ao equipamento, bem como a informação de natureza operacional para calcular os indicadores técnicos da manutenção: MTBF, MTTR, disponibilidade e sua aplicação no contexto da gestão global de um parque de equipamentos.

2.21. Custos de manutenção

Segundo Marques (2009), os verdadeiros custos de manutenção que exprimem, realmente, o seu desempenho, não são só os custos contabilísticos (custos directos: Custos de mão-de-obra, peças de substituídas e consumíveis, trabalhos subcontractados, custos de posse de *stocks*, custos de posse de ferramentas e máquinas, contractos de manutenção e custos globais de manutenção). São estes e mais os que têm em linha de conta as consequências de manutenção (custos indirectos: Custos associados à produção devida a avarias das máquinas e custos devido a produtos defeituosos).

Conforme refere Cabral (1998), alguns destes últimos custos são difíceis, ou mesmo impossíveis de serem determinados, porque pressupõem uma resposta quantificada a uma pergunta do tipo “... o que aconteceria se...”

Quando à frente do “se” estiverem questões ligadas a segurança e ao meio ambiente, a procura de custos reveste-se de um carácter quase só académico.

Mas, quando surge em questão a imagem da Empresa, o respeito pelos prazos de entrega de produtos acabados, etc. Tende-se a orientar a gestão da manutenção mais por considerações de ordem técnica e de bom senso comum, do que de exercícios académicos de quantificação de “se’s”.

Porém, numa cultura em que ainda não se descobriu uma unidade de medida para a quantificação numérica dos custos, convém reter a imagem gráfica do *iceberg* dos custos verdadeiros da manutenção apresentada na figura 2.12, em que a ponta visível representa os custos contabilísticos e a parte imersa - quatro vezes maior - representa todos os outros, não facilmente quantificáveis.

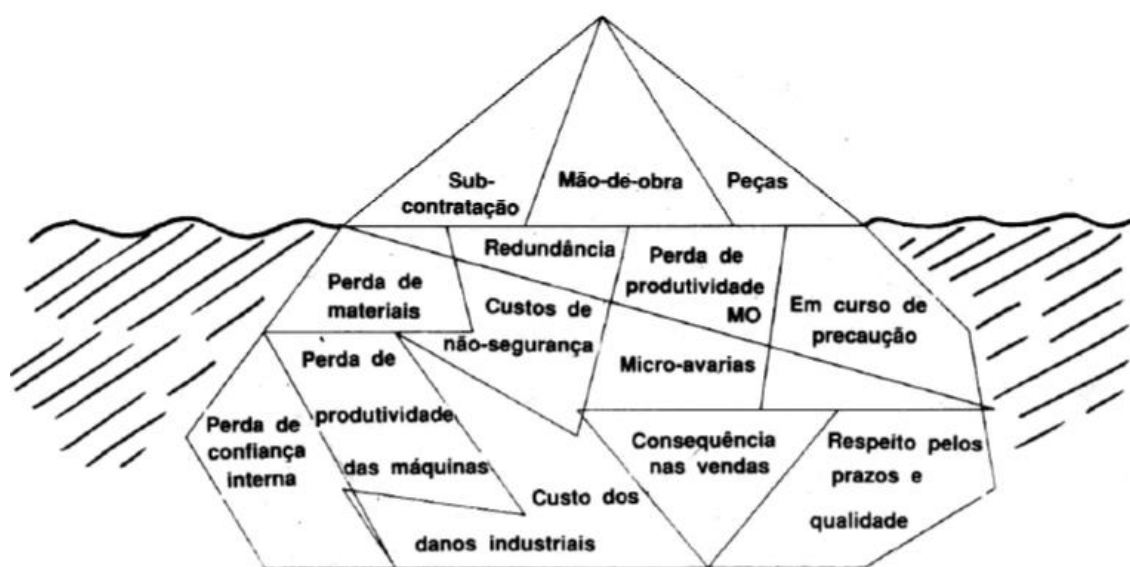


Figura 2.12- Iceberg de custos verdadeiros de manutenção (extraído de [Souris, 1992])

Os custos de manutenção correctiva incluem todos os custos resultantes de despesas ou perdas de receita, em qualquer área da empresa, como consequência de falta de manutenção, manutenção insuficiente ou inadequada. Entre os custos de manutenção correctiva destacam-se os seguintes:

- Custos relativos a perda de produção;
- Custos com encargos adicionais com o pessoal;
- Custo de equipamentos adquiridos adicionalmente para garantir o fluxo de produção;
- Custo de operação.

Os custos de manutenção preventiva incluem as despesas com o pessoal, materiais e subcontratos, gastos industriais e administrativos, peças de reserva e imputações de encargos da estrutura da empresa associada à operação específica de manutenção preventiva.

2.22. Conclusão do capítulo 2

Neste capítulo fez-se a revisão bibliográfica, e das análises realizadas vamos aplicar os conceitos no capítulo 3, no caso de estudo.

É de realçar que, com a revisão bibliográfica efectuada ficou bem claro da existência de meios tecnológicos e matemáticos capazes de fazerem uma abordagem completa dos equipamentos no que à manutenção diz respeito: fiabilidade, manutibilidade, disponibilidade e consequentemente menor custo devido a manutenção ou a não-manutenção.

No ponto 2.21, tratou-se de custos de manutenção que se subdivide em custos contabilísticos (custos directos) e custos provocados pelas consequências da manutenção (custos indirectos).

Para o caso de estudo apresentado nesta dissertação, os custos directos de manutenção são os seguintes: Custos de peças, consumíveis e custos do contrato de manutenção de 200 horas/ano, assinado com uma empresa especializada e tem um valor de 35 euros por hora de intervenção. O tipo de manutenção é curativo, ou seja, reparar somente quando avariar.

Capítulo 3

Caso de estudo

O caso de estudo apresentado a seguir descreve o estudo da fiabilidade das máquinas CNC proposta nesta dissertação e sugerir o tipo de manutenção mais adequado para cada uma das nove máquinas CNC, através da recolha e análise de dados do registo de histórico de avarias e reparações, fazendo uso da Distribuição Weibull (software Microsoft Excel) e análise de resultados, a interpretação do parâmetro de forma através da clássica curva da banheira. Faz-se referência ainda neste capítulo à organização da manutenção na empresa J. Deus e aos custos da manutenção.

3.1. Caracterização da empresa

A empresa J. Deus foi fundada em 1914 em Porto Alto, Samora Correia. Em Maio de 1994 fundou uma filial em Setúbal designada MPSA (localizada nas instalações da empresa Tecnitools). As actividades principais da filial de Setúbal foram o desenvolvimento de moldes para injeção de plástico e o fabrico de peças por injeção plástica.

Em 1996, a empresa J. Deus, incluindo a sua filial MPSA, foi comprada pelo grupo Magneti Marelli (divisão térmica).

Em 1997, a MPSA adquiriu a empresa Tecnitools e começou a desenvolver e produzir peças por estampagem, cunhos e cortantes, máquinas especiais dedicadas para processo de fabrico de radiadores e *intercooler*.

Até 1997 a empresa J. Deus apenas fabricava radiadores para o mercado de After-Market (radiadores concorrenciais com os originais), para crescer era necessário apostar noutro tipo de produto capaz de entrar no mercado chamado de 1º Equipamento (OEM, fornecer directamente às montadoras de automóveis). Surgiu assim o desafio da Audi e nasceu o 1º *intercooler* J. Deus.

Em 2001, a multinacional japonesa Denso Corporation adquiriu 70% das acções do grupo Magneti Marelli, tendo a empresa J. Deus passado também a pertencer à referida multinacional japonesa.

Em 2010 a filial MPSA passou a designar-se por J. Deus Setúbal.

A seguir apresenta-se na figura 3.1 as instalações da empresa J. Deus, em Setúbal.



Figura 3.1- Empresa onde se realizou o caso de estudo desta dissertação, em Setúbal.

O *Lay Out* da instalação está apresentado na figura 3.2, no qual se apresentam os vários sectores da empresa J. Deus.

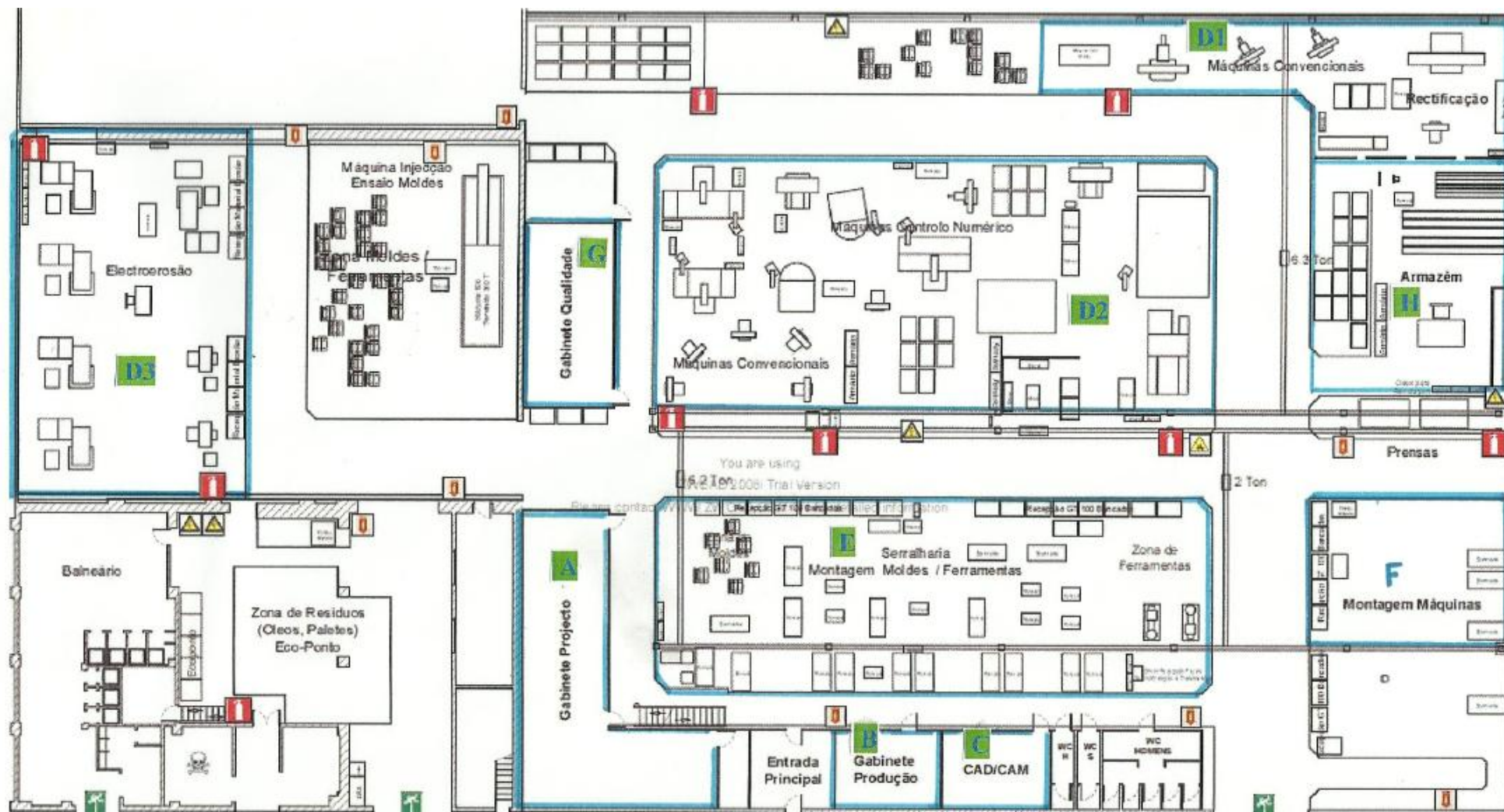


Figura 3.2-Lay out da instalação

Legenda:

- A** Gabinete de projectos;
- B** Gabinete de produção;
- C** Programação CAD / CAM;
- D1** Sector de máquinas convencionais (tornos, fresadoras e rectificação);
- D2** Sector de maquinação CNC;
- D3** Sector de electroerosão;
- E** Sector de montagem de Moldes e Ferramentas;
- F** Sector de montagem de Máquinas;
- G** Gabinete de Qualidade;
- H** Armazém de materiais.

Tal como podemos observar no *Lay Out*, o processo de fabrico na empresa onde se realizou a presente dissertação, inicia-se no gabinete de projectos (aqui fazem-se os estudos de viabilidade dos pedidos de trabalhos do cliente que é neste caso a J. Deus Porto Alto) que por sua vez trabalha em estreita coordenação com o gabinete de produção.

O material bruto de maquinação quando chega a empresa vai para as máquinas convencionais para o desbaste. Caso se justifique o bruto pode ir ao tratamento térmico (no exterior da empresa), de seguida pode ir para a rectificação ou para o sector de electroerosão onde é feito o acabamento ao bruto de maquinação por forma a se obter o paralelismo e a perpendicularidade entre as faces.

Enquanto se faz o preparo do bruto de maquinação, o gabinete de programação CAD/CAM executa o programa para o sector de maquinação CNC.

Posteriormente, o bruto é enviado para o centro de maquinação CNC. Após a maquinação, as peças produzidas são enviadas para o sector de montagem onde são montados os Moldes e as Ferramentas, em seguida fazem-se testes e ajustes.

De uma forma simples a figura 3.3 apresenta a sequência de execução dos trabalhos através de um fluxograma, desde o pedido de um serviço pelo cliente até a entrega do mesmo (após os testes).

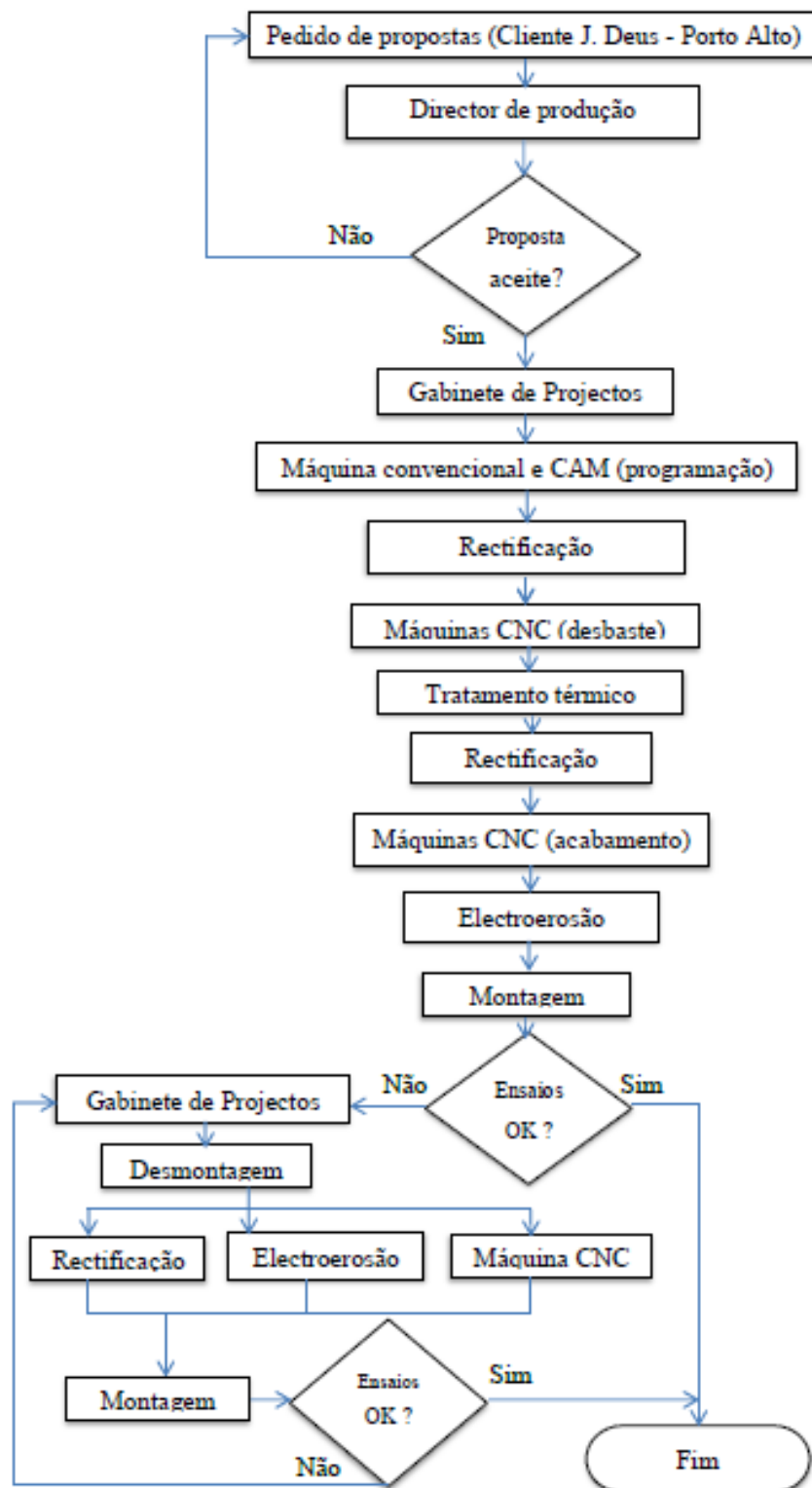


Figura 3.3- Sequência da execução dos trabalhos na J. Deus, em Setúbal

3.2. Caracterização dos equipamentos

O sector de maquinagem CNC da empresa onde se realizou o caso de estudo desta dissertação está constituído por 9 máquinas CNC.

Para se maquinar uma peça é preciso que a mesma esteja alinhada em direcção e sentido aos eixos da máquina.

Os eixos (**XYZ**) são as direcções segundo as quais se podem programar os movimentos relativos entre a ferramenta de corte e a peça de forma contínua e controlada. Na técnica CN, os eixos principais são classificados como eixos geométricos. Esse termo é utilizado igualmente em situações de programação.

Para cada eixo cartesiano está associado um eixo de rotação, a saber:

- Eixo **A**- rotação em torno do eixo **X**;
- Eixo **B**- rotação em torno do eixo **Y**;
- Eixo **C**- rotação em torno do eixo **Z**.

Os eixos de movimento coincidem com os eixos dos sistemas de coordenadas cartesianas (**X**, **Y** e **Z**), sendo que os sentidos dos eixos são determinados pela regra da mão direita.

Foi adoptado internacionalmente a convenção de “orientar o eixo “**Z**” no sentido paralelo ao eixo-árvore da máquina, contendo o movimento principal de corte. O sentido positivo do eixo “**Z**” é aquele no qual a ferramenta se afasta da peça. O sistema de eixos encontra-se representado na figura 3.4.

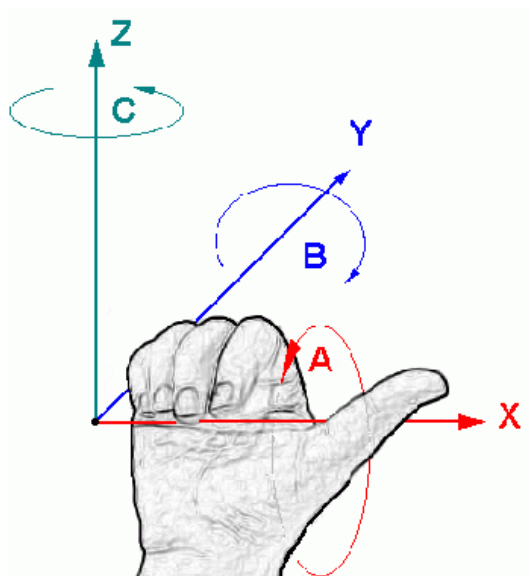


Figura 3.4- Sistema de coordenadas dos eixos (extraído de [Azevedo])

Os componentes principais de uma máquina CNC estão apresentados a seguir na figura 3.5.

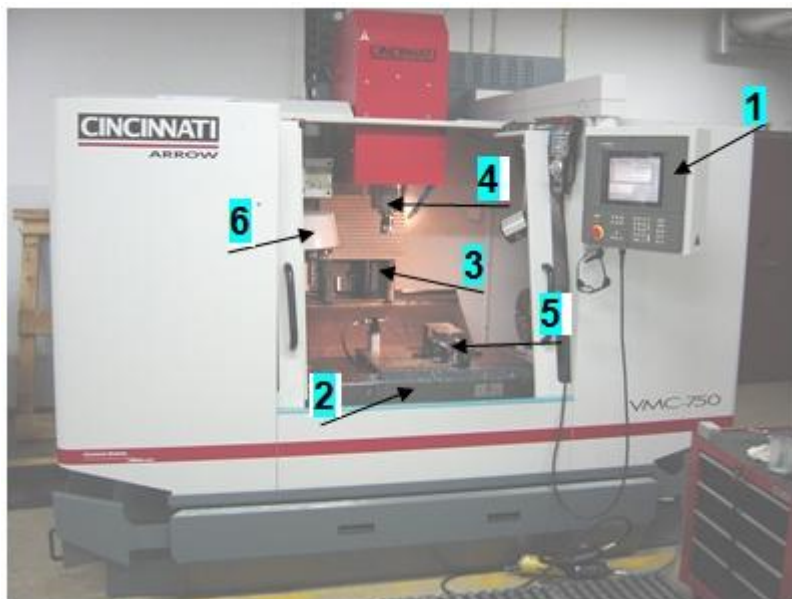


Figura 3.5- Fresadora CNC – Cincinnati Arrow 750 (fonte: ESTSetúbal)

Legenda:

1. Controlador CNC;
2. Mesa de trabalho XY;
3. Eixo Z;
4. Árvore de rotação da máquina;
5. Prensa (sistema fixação do bruto de maquinagem);
6. Armazém de ferramentas automático.

As 9 máquinas CNC que constituem o sector de maquinagem da empresa J. Deus, estão descritas a seguir e representadas nas figuras de 3.6 a 3.14:

- 1) **(Centro de maquinagem vertical 300) FADAL 4020:** com 2 eixos na mesa (XY) e um eixo Z na árvore. O armazém de ferramentas automático possui 21 ferramentas de corte e usa linguagem de programação ISO.



Figura 3.6- Máquina CNC, Fadal 4020

- 2) **(Centro de maquinagem vertical 301) FADAL 6030:** com 2 eixos na mesa (XY) e um eixo Z na árvore. O armazém de ferramentas automático possui 21 ferramentas de corte e usa linguagem de programação ISO.



Figura 3.7- Máquina CNC, Fadal 6030

- 3) **(Centro de maquinagem vertical 304) Deckel Maho:** possui 4 eixos. Os movimentos X e Y são executados pela árvore e o movimento em Z é executado pela mesa. O eixo B (em torno de Y) é feito pela árvore. O

armazém de ferramentas automático possui 32 ferramentas de corte e usa linguagem de programação Heidenhain.



Figura 3.8- Máquina CNC, Deckel Maho DMU 80T

- 4) **(Centro de maquinagem vertical 306) Deckel Maho:** possui 4 eixos de movimentos, a árvore executa movimentos em XYZ e faz o giro B (em torno do eixo Y). O armazém de ferramentas automático possui 32 ferramentas de corte e usa linguagem de programação Heidenhain.



Figura 3.9- Máquina CNC, 306 – Deckel Maho DMU 80T

- 5) **(Centro de maquinagem vertical 302) ANAYAK:** possui 4 eixos de movimentos, a árvore executa movimentos em YZ e faz o giro B (em torno do eixo Y “manual”), a mesa no eixo X. Não possui armazém de ferramentas de corte e usa linguagem de programação Heidenhain.



Figura 3.10- Máquina CNC, Anayak

- 6) **(Centro de maquinagem vertical 303) DMU 50M:** possui 4 eixos de movimentos, a árvore executa movimentos em XYZ e faz o giro B (em torno do eixo Y “manual”). Não possui armazém de ferramentas de corte e usa linguagem de programação Heidenhain.



Figura 3.11- Máquina CNC, 303 -DMU 50 M

- 7) **(Centro de maquinagem vertical 305) DMU 50M:** possui 4 eixos de movimentos, a árvore executa movimentos em XYZ e faz o giro B (em torno do eixo Y “manual”). Não possui armazém de ferramentas de corte e usa linguagem de programação Heidenhain.



Figura 3.12- Máquina CNC, 305 -DMU 50 M

- 8) **(Centro de maquinagem vertical 308) GT-1614V:** possui 3 eixos de movimentos, a árvore executa movimentos em YZ e a mesa movimenta-se em X. O armazém de ferramentas automático possui 20 ferramentas de corte. Usa a linguagem de programação Heidenhain.



Figura 3.13- Máquina CNC, GT-1614V

- 9) **(Centro de maquinagem vertical 307) DMF 220 linear:** possui 5 eixos de movimentos, a árvore executa movimentos em XYZ e faz o giro B (em torno do eixo Y), a mesa faz o giro C em torno do eixo Z. O armazém de ferramentas automático possui 30 ferramentas de corte.



Figura 3.14- Máquina CNC, DMF 220 linear

3.3. Organização de manutenção na empresa J. Deus

A organização de manutenção na empresa J. Deus baseia-se na acção do responsável pela produção, no recurso aos serviços externos providenciados por um fornecedor de máquinas CNC e por uma empresa prestadora de serviços de manutenção.

Ao operador da máquina é incumbida a responsabilidade de realizar a manutenção de nível 1: controlo visual, limpeza, mudança de líquido de lubrificação da ferramenta de corte.

Em caso de avaria em uma das 9 máquinas do sector de maquinação CNC, solicita-se uma das duas empresas especializadas em manutenção (com custo de 43 euros/hora). Tal tipo de manutenção é a Curativa.

No final do ano de 2012, a direcção da empresa colocou como uma das suas metas para o ano de 2013, a redução de custos com a manutenção.

Para tal, analisaram-se os tempos de paragens por avarias em três anos precedentes (ver anexo I), o que permitiu saber o número de avarias por cada ano e obteve-se:

- No ano de 2010: 201 horas de reparação;
- No ano de 2011: 72 horas de reparação;
- No ano de 2012: 94,5 horas de reparação.

Portanto, considerou-se o ano mais crítico em termos de tempo de paragens, o de 2010 com 201 horas de paragens para reparação de máquinas CNC, o que resultou na celebração de um contrato anual de 200 horas com um custo de 35 euros/hora, o mesmo contrato está apresentado na tabela 3.1.

Tabela 3.1- Folha do contrato de manutenção de 200 horas/ano

Cliente : João de Deus & Filhos S. A.		 maquinarmais COMÉRCIO DE MÁQUINAS E SERVIÇOS LDA			
Contracto (horas/ano): 200					
		91	Horas já Utilizadas	Saldo final (horas)	109
Dia	Horas Intervenção	Desloc.	Nome do técnico	Máquina CNC e Breve descrição da intervenção	Saldo
05-04-2013	5	1,5	Rui Cavaleiro	DMU80T - problema motor trocador tools	193,5
19-04-2013	1,5	1,5	Rui Cavaleiro	DMU80T - erros de controlador	190,5
22-04-2013	5	1,5	Rui Cavaleiro	DMF220 - Correção erros geométricos	184
17-05-2013	2	1,5	Rui Cavaleiro	DMU80T - Diagnóstico avaria drive spindle	180,5
27-05-2013	2	1,5	Rui Cavaleiro	DMU80T - Instalação spindle drive reparado	177
28-05-2013	2	1,5	Rui Cavaleiro	DMU80T - instalação de motor do armazém	173,5
05-06-2013	3,5	1,5	Rui Cavaleiro	DMU80T - instalação cabos sensores + testes	168,5
18-06-2013	2	1,5	Rui Cavaleiro	DMU80T - diagnóstico fuga de óleo	165
20-06-2013	3	1,5	Rui Cavaleiro	DMU80T - substituição válvula + testes	160,5
05-07-2013	1	1,5	Rui Cavaleiro	DMU50M - montagem de monitor reparado	158
17-07-2013	8	1,5	Rui Cavaleiro	DMU80T - substituição cabo control 25 cond.	148,5
18-07-2013	2,5	1,5	Daniel Gaio	DMU80T - substituição ventilador sist. frio	144,5
23-08-2013	22,5	4,5	Rui Cavaleiro	DMU80T - intervenção mecânica fusos Y + Z	117,5
06-09-2013	1	1,5	Rui Cavaleiro	DMU80T - avaliação alarme máquina	115
04-10-2013	3	3	Rui Cavaleiro	DMU50M - substituição Spindle Drive	109
					109
		91	Horas já Utilizadas	Saldo final (horas)	109

Tal como podemos observar na tabela 3.1, até ao dia 4 de Outubro de 2013, havia-se consumido 91 horas das 200 horas anual contratual.

Entretanto, este é o ano experimental para o contrato de 200 horas anual, deste modo, no final do mesmo que será a 31 de Março de 2014, será feita a análise que levará a uma decisão sobre o próximo contrato para 2014. Mas, analisando os dados contidos na tabela 3.1 acreditamos que o número de horas anual será inferior a 200 horas, visto que até ao presente momento (passados 7 meses) se registaram 15 avarias que fazem um total de 91 horas de intervenção e tempo de deslocação do técnico e que até ao fim do contrato (daqui a 5 meses) se prevê um número inferior de avarias.

3.4. Análise das intervenções por máquinas CNC

O registo histórico das avarias no centro de maquinagem CNC foi efectuado durante o período compreendido entre o dia 12 de Janeiro de 2010 e o dia 6 de Maio de 2013. Na folha do registo consta, nomeadamente, a designação da máquina, o tipo de alarme, a descrição da avaria e a solução, a data da avaria, o tempo gasto na reparação, o material usado e o nome dos intervenientes da manutenção. No anexo II apresenta-se uma folha de registo de histórico de avarias usada nesta dissertação.

Do registo histórico efectuado recenseou-se o número de avarias e o tempo de reparação (em horas) por cada máquina, da análise feita na tabela 3.2, concluiu-se sobre as máquinas críticas em termos de avarias que neste caso são a máquina 3 e a máquina 9, respectivamente.

Tabela 3.2- Máquinas críticas em termos de avarias

Nº da máq.	Designação	Nº de avarias	T. Reparação [horas].
1	300 - FADAL 4020	3	17
2	301 - FADAL 6030	4	23,5
3	304 - Deckel Maho	20	109,5
4	306 - Deckel Maho	5	54,5
5	302 - ANAYAK	5	17,5
6	303 - DMU50M	2	8
7	305 - DMU50M	2	6,5
8	308 - GT-1614V	8	54
9	307 - DMF 220 linear	16	148

Observando o número de avarias e os respectivos tempos de reparação na tabela 3.2, verifica-se que existe duas máquinas que deverão ser estudadas, que são a máquina

3 e a máquina 9, por apresentarem maior número de avarias.

É de realçar que as avarias na máquina 3 são atribuídas por causa da idade e pela concepção da mesma (possui mesa móvel) o que implica ter de suportar o peso da peça a ser maquinada em todos os movimentos necessários de corte.

Para a máquina 9, atribui-se-lhe a sensibilidade da mesma, por ser uma máquina destinada a corte na ordem dos micrómetros.

Apresenta-se a seguir na figuras 3.15 e na figura 3.16 os gráficos dos dados obtidos do registo histórico.

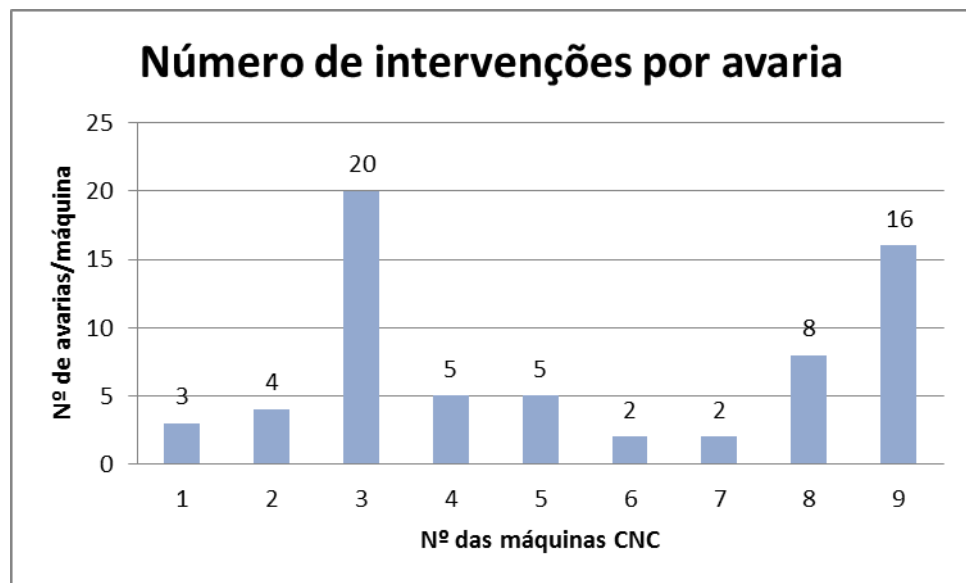


Figura 3.15- Número de reparações por cada máquina

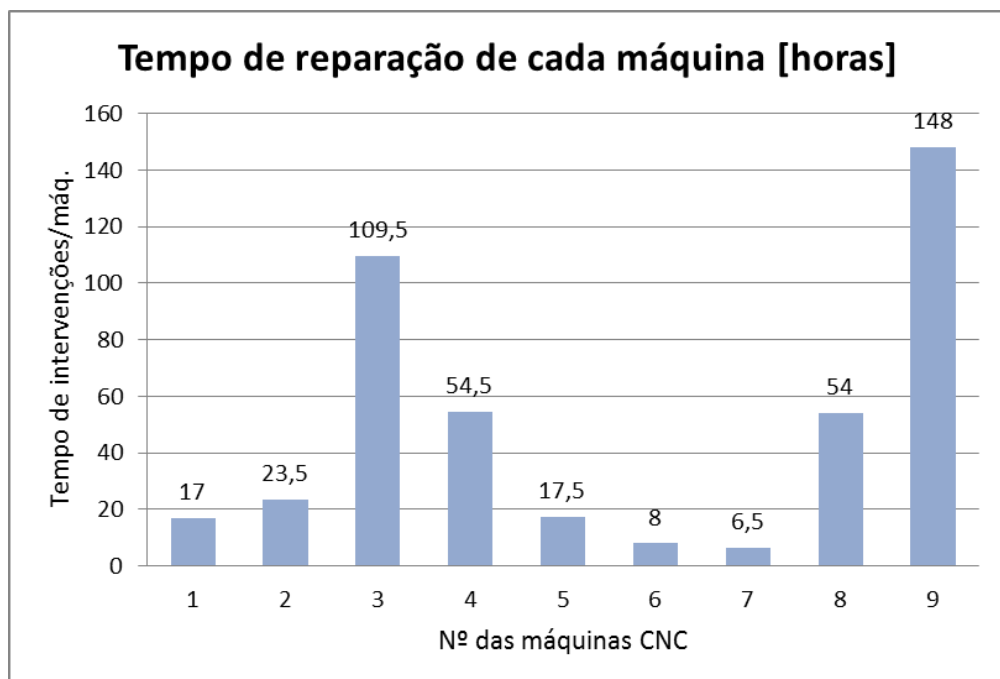


Figura 3.16- Duração de reparação por máquina

Dos resultados do histórico por cada máquina CNC podemos concluir que as máquinas mais importantes em termos de avarias são a máquina 3 e a máquina 9. Estas duas máquinas representam 55,4% do número total de avarias e 58,7% do tempo total gasto em reparações.

3.5. Aplicação das metodologias de análise de fiabilidade

Este ponto é dedicado à aplicação das metodologias de análise de fiabilidade ao caso de estudo, sendo que a abordagem teórica foi feita no capítulo 2.

3.5.1. Identificação dos modos de avarias

Recorrendo, aos registos de históricos de intervenções por avarias das 9 máquinas CNC do sector de maquinação e ao conhecimento das máquinas por parte dos operadores de máquinas e dos técnicos de manutenção, foi possível estabelecer os principais modos de avarias das 9 máquinas.

Para o caso de estudo aqui apresentado, classificaram-se as avarias por modos de avarias em cada uma das 9 máquinas CNC, a partir da análise das avarias frequentes, (ver anexo III), tal classificação está apresentada na tabela 3.3.

Tabela 3.3- Modos de avarias por cada máquina

Modos/Máq.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
A	I		IIII				II	III	III
B	II		IIIIII	II	I	I		I	IIIIIIII
C		I						I	
D			I		I				I
E			II		I	I			

Verifica-se que para os modos de avarias **CD** e **E**, todas máquinas devem continuar com o tipo de manutenção curativa, pelo facto de as máquinas apresentarem um número muito reduzido de avarias para os referidos modos.

Mas, é visível que, a máquina 3 e a máquina 9 apresentam uma criticidade nos modos de avarias **A** e **B**.

Legenda:

Modo A: Problema eléctrico

Modo B: Geometria dos eixos

Modo C: Encoder

Modo D: Nivelamento da máquina

Modo E: Problema com a porta da máquina

3.5.2. Aplicação da distribuição de Weibull no caso de estudo

Para o estudo da taxa de avarias nas duas máquinas críticas em termo de avarias, recorreremos à distribuição de Weibull (Software Microsoft Excel), no qual introduzimos dados retirados do registo de histórico dum período compreendido entre o dia 12 de Janeiro de 2010 e o dia 6 de Maio de 2013.

A realização desta etapa consistiu em introduzir os tempos de intervenções em dias (ou número de ciclos), o número mínimo de ciclos desejado (que foi de 100 para todos os casos) e a percentagem de sobrevivência desejada para o número de ciclos. Em termos de resultados apresentados no gráfico, o que nos serve para a análise é o parâmetro de forma β , (*shape parameter, Beta*).

A análise da variedade do parâmetro de forma obtido como resultado para cada máquina em estudo, permitiu-nos caracterizar a taxa de avarias traduzido pela curva da banheira apresentada na figura 3.17, e que por fim permitiu criar um conjunto de planos de acções com vista à melhoria da fiabilidade das máquinas.

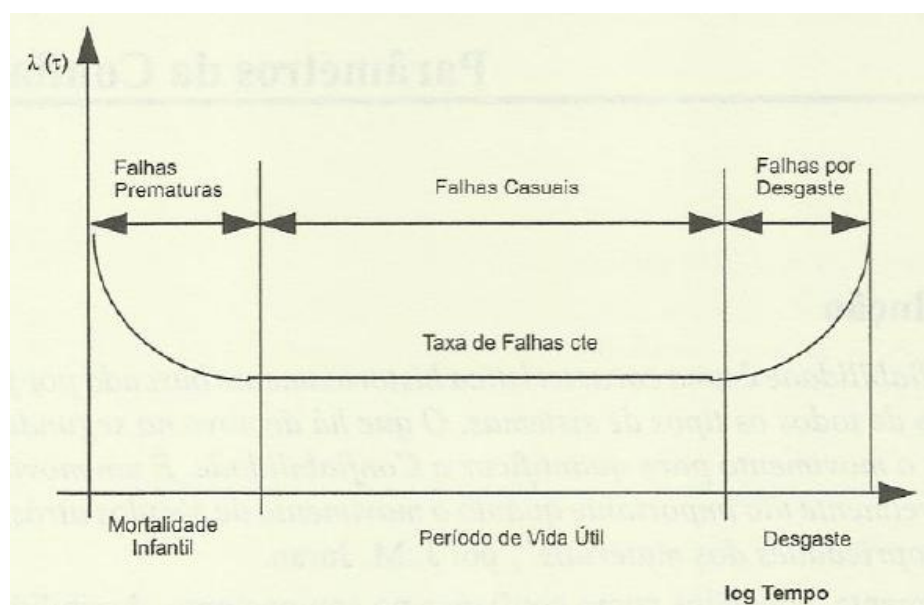


Figura 3.17- Variação da taxa de avarias durante a vida da máquina (extraído de [Lafraia, 2008])

Nesta curva, podemos ver que um componente apresenta três períodos da vida

característico, que são: mortalidade infantil, período de vida útil e período de desgaste.

Fazendo uso da expressão a três parâmetros (3.1), desenvolvida por Weibull, através de parâmetros adequados é possível ajustar uma máquina a qualquer uma das zonas da curva.

$$C(t) = e^{[-(\frac{t}{\eta})^\beta]} \quad (3.1)$$

Onde:

$C(t)$ - é a probabilidade de sobrevivência no intervalo t .

η -parâmetro de escala ou tempo característico de falha, é medido em horas de operação.

β -parâmetro de forma de Weibull. Consoante o parâmetro de forma, β , teremos:

- $\beta < 1$ - implica que a taxa de avarias é decrescente, correspondendo à primeira zona da curva da banheira, caracterizada por mortalidade infantil (falhas prematuras).
- $\beta = 1$ -Implica que a taxa de avarias é constante, caracterizando a zona de falhas casuais (aleatórias).
- $\beta > 1$ -Implica que a taxa de avarias é crescente, caracterizando a zona de falhas por desgaste.

Assim, a partir de dados obtidos do histórico de reparações e simulados no “*software Weibull Excel*”, fizemos o estudo das máquinas críticas, a máquina 3 e a máquina 9 para os modos de avarias A e B, respectivamente.

Os resultados obtidos poderão ser analisados em torno dos valores do parâmetro de forma β , considerando para isso três situações distintas: casos de $\beta < 1$; $\beta = 1$ e $\beta > 1$.

É de lembrar que para as máquinas que apresentam valores do parâmetro de forma $\beta > 1$, mas inferior a 2, apresentam um ténue crescimento da taxa de avarias (devido ao desgaste ou velhice).

Deste modo, os resultados para cada uma das máquinas estudadas estão apresentados nas figuras de 3.18 a 3.21.

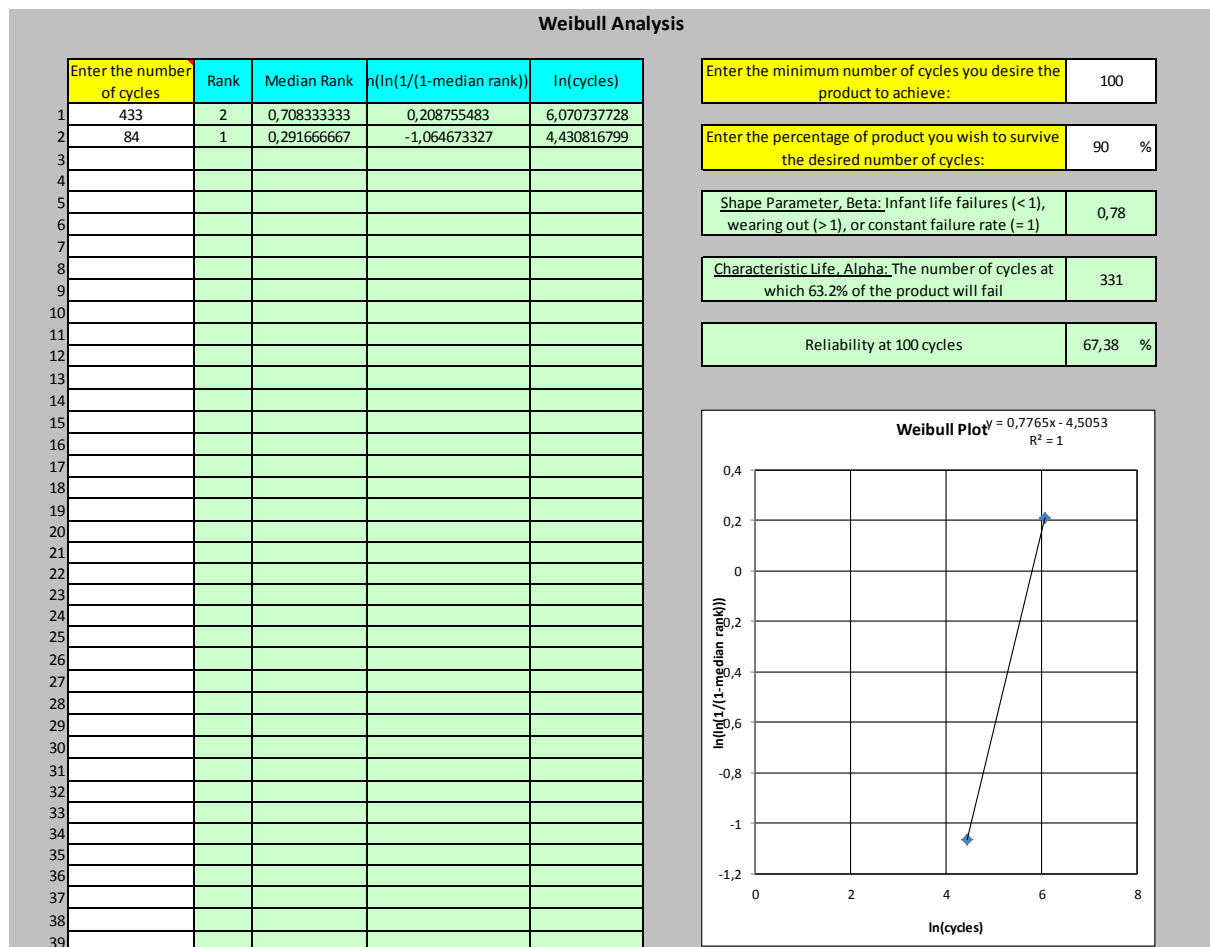


Figura 3.19- Modo de avaria **A** para a máquina **9**

A análise feita à máquina 9 para o modo de avaria **A**, obtivemos o parâmetro de forma, Beta, ($\beta = 0,78$). E por ser menor do que 1, nos indica que a máquina 9 apresenta a taxa de avarias decrescente, e situa-se na zona de mortalidade infantil na clássica curva da banheira.

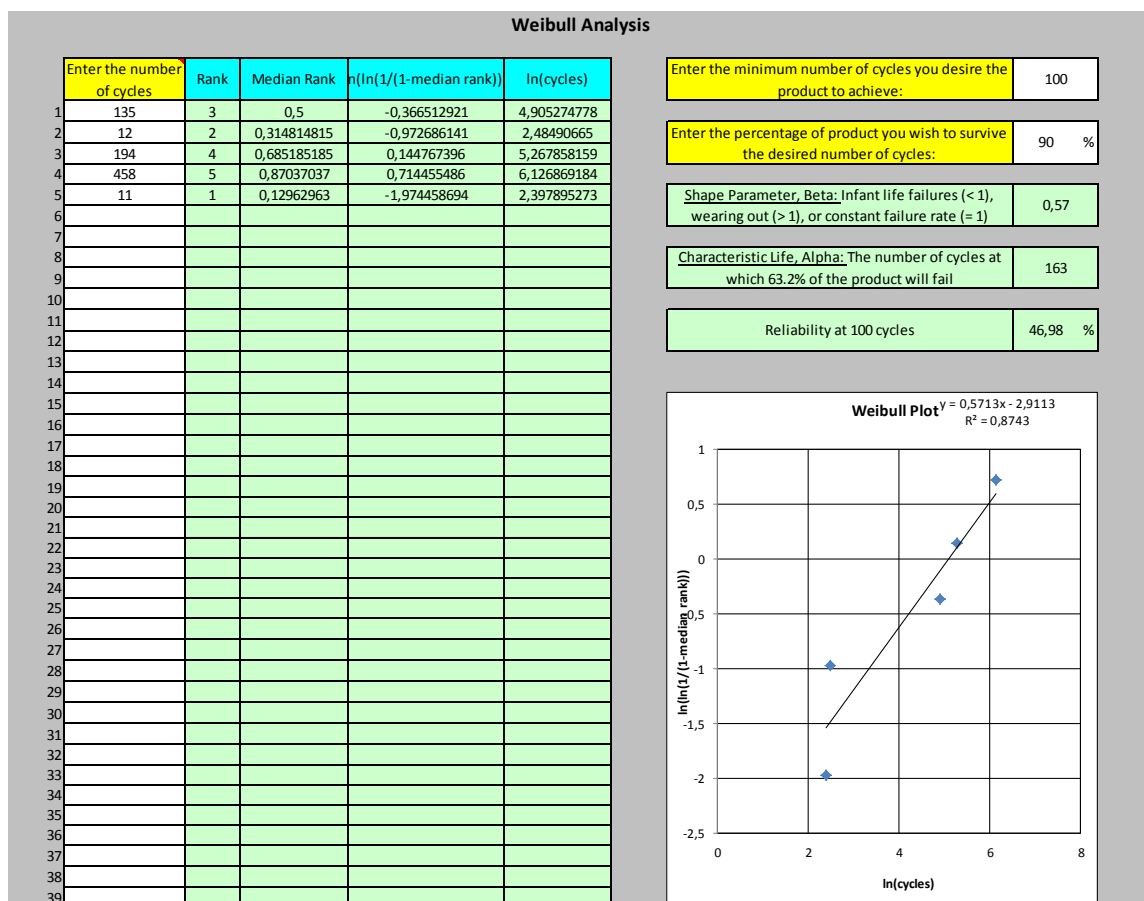


Figura 3.20- Modo de avaria **B** para a máquina 3

A análise feita à máquina 3 para o modo de avaria **B**, obtivemos o parâmetro de forma, Beta, ($\beta = 0,57$). E por ser menor do que 1, nos indica que a máquina 3 apresenta a taxa de avarias decrescente, e situa-se na zona de mortalidade infantil na clássica curva da banheira.

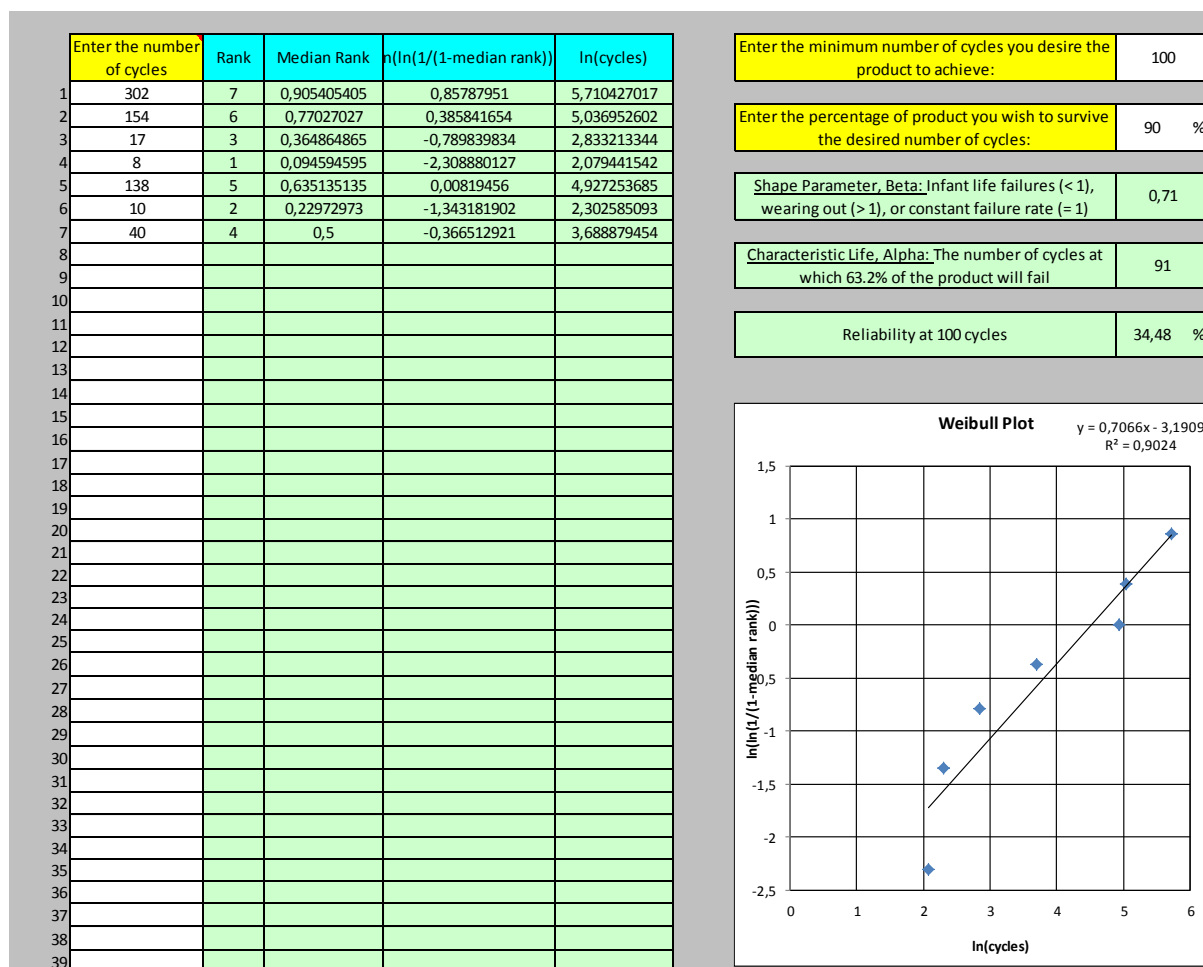


Figura 3.21- Modo de avaria **B** para a máquina **9**

A análise feita à máquina **9** para o modo de avaria **B**, obtivemos o parâmetro de forma, Beta, ($\beta = 0,71$). E por ser menor do que 1, nos indica que a máquina **9** apresenta a taxa de avarias decrescente, e situa-se na zona de mortalidade infantil na clássica curva da banheira.

É de lembrar que na empresa em que se realizou o caso de estudo, pratica-se o tipo de manutenção curativa, ou seja, efectua-se reparação apenas quando houver avaria nas máquinas.

Mas o objectivo nesta dissertação é estudar as avarias a partir do registo histórico de cada máquina e por fim sugerir o tipo de manutenção mais adequada para cada máquina.

Tendo analisado a tabela 3.2, notou-se que a máquina 3 e a máquina 9 apresentam maior número de avarias, razão pela qual foram alvo de estudo, mas para as restantes máquinas, por apresentarem menor número de avarias é recomendado o tipo de manutenção curativa. Ou seja, o mesmo tipo de manutenção que se está a praticar.

Para a máquina 3 e a máquina 9, por apresentarem maior criticidade em termos de avaria, tal facto implicaria a realização do tipo de manutenção preventiva. Mas, ao estudá-las recorrendo à distribuição de Weibull apresentadas nas figuras de 3.18 a 3.21, obtivemos os valores do parâmetro de forma β , inferiores à unidade, ou seja ($\beta < 1$), o que nos indica que as máquinas apresentam uma taxa de avarias decrescente, correspondendo à primeira zona da curva da banheira. Para as máquinas situadas nesta zona da curva sugere-se o tipo de manutenção curativa. Deste modo, recomenda-se continuar com o tipo de manutenção que se está a praticar na empresa (**curativa**).

3.5.3. Metodologia FMECA – sua aplicação ao caso de estudo

O objectivo deste ponto 3.5.3 é a aplicação do RCM (Reliability Centered Maintenance). Tal abordagem é feita tendo em vista a complementaridade com o TPM (Total Productive Maintenance)

A abordagem do RCM será feita pela utilização da ferramenta FMECA – *Failure Modes, Effects and Criticality Analysis*, também conhecida na literatura francesa por AMDEC – *Analyse des Modes de Defaillances, leurs Effets et de leur Criticité*. A ferramenta FMECA aqui utilizada na metodologia RCM foi explicada no capítulo 2 (revisão bibliográfica).

Esta ferramenta é frequentemente utilizada na fase de projecto dos equipamentos, mas que é utilizada também numa fase posterior, como é o caso da fase de exploração. E é neste âmbito que vamos utilizá-la para as máquinas CNC.

Após a análise da fiabilidade no ponto 3.5.2 da máquina 3 e máquina 9, agora é chegado o momento para determinar e caracterizar os modos de avarias críticos das mesmas, a partir da análise dos seus componentes. A lista das avarias frequentes encontra-se no anexo III.

Assim, na tabela 3.4 está apresentada a ferramenta FMECA realizada para a máquina CNC número 3 (designada por Deckel Maho, com 20 avarias e tempo gasto em reparações de 109,5 horas) durante o período entre 12 de Janeiro de 2010 e 6 de Maio de 2013.

Tabela 3.4– Apresentação da FMECA da máquina CNC Deckel Maho

FMECA nº 01	Autor: Evaristo Dias
	Data da criação: 03-03-2014
Designação da máquina: Máquina CNC nº 3 (Deckel Maho)	Data da actualização: 07-03-2014

Função	Modo potencial	Efeito potencial	Gravidade	Causas potenciais / Encadeamento	Ocorrência	Prevenção	Deteção	Deteção	Criticidade	Ação recomendada
Maquinação de peças de acordo com a modelação 3D por fresagem e furação, com utilização de várias ferramentas previamente montadas no armazém de ferramentas.	O armazém de ferramenta não funciona.	O armazém não se posiciona para que a máquina efectue a troca ferramenta de corte.	4	Devido a avaria do motor que efectua a subida e descida do armazém de ferramenta.	2	Limpeza permanente da área.	Não detectável	4	32	Substituição do motor e redutor, motagem de cabos novos que fazem a alimentação dos sensores que detectam os fins de curso do armazém.
	O sistema de arrefecimento da ferramenta de corte e da peça, deficiente.	Obstrução do tubo, o que originou deficiência no arrefecimento.	3	O líquido de arrefecimento é a mistura de óleo e água. Sucedeu que a água evaporou e ao adicionar água no depósito, criou bólias espessas.	1	Observar com frequência o volume e o estado do líquido.	Visual	2	6	Limpeza do circuito completo e colocar novo líquido no sistema de arrefecimento.
	Erro de geometria no eixo B.	A ferramenta de corte continua a maquinar, mas, neste caso, desorientada danificando a peça.	4	Esforço excessivo ou travão danificado.	2	Sem prevenção	Após medição da peça acabada de ser maquinada	3	24	Chamar técnico de manutenção após 7000 horas de serviço da máquina. Ou se houver 4 centésimos de desfasamento.
	Desalinhamento dos eixos X, Y e Z.	Não cumprimento com as cotas de maquinação estipuladas (+ de 0,04 m).	4	Desalinhamento dos barramentos e excessivas horas de serviço (acima de 7000 horas).	2	Sem prevenção	Após medição da peça acabada de ser maquinada.	3	24	Chamar técnico de manutenção após 7000 horas de serviço da máquina. Ou se houver 4 centésimos de desfasamento.
	A máquina CNC não liga.	Indisponibilidade da máq. com custos económicos.	4	Avaria do motor de arranque.	2	Sem prevenção	Não detectável	4	32	Desmontagem e substituição de componente eléctrico.
	A máquina só permite dar carga aos motores com a porta aberta.	Paragem da máquina ou Indisponibilidade da máq.	4	Problema eléctrico no relé. Devido a esforço excessivo ou mudanças bruscas de direcção da ferramenta.	2	Sem prevenção	Não detectável	4	32	Reparação do relé.
	Avaria do Spindle drive.	Spindle drive não dá uma volta completa. Quando a velocidade de rotação é baixa.	4	Problema na parte da potência.	2	Sem prevenção	Não detectável	4	32	Reparação da parte da potência do spindle.

3.5.4. Determinação do modo de falha crítico pela análise FMECA

Na regra de utilização da FMECA, estão identificados os critérios utilizados para obtenção/determinação do modo de falha crítico, que são, Gonçalves (2006):

- A gravidade do efeito – G;
- A frequência de ocorrência – F;
- A não detecção – D.

As suas classificações estão apresentadas nas tabelas de 3.5 a 3.7.

O índice de criticidade foi calculado pela multiplicação dos três critérios, e permitiu avaliar o grau de criticidade de cada modo de avaria da máquina estudada, sendo que a criticidade é maior quanto maior for o valor calculado.

Não há aqui a possibilidade de tomada de decisão sobre em que órgãos devem ser concentrados os esforços para melhoria da fiabilidade, o que seria neste caso, a hierarquização deste índice de criticidade. Porque aqui na J. Deus, em caso de avaria numa das máquinas todos os esforços para a reparação são envidados para tornar a máquina no estado de disponível, ou seja, em caso de avaria em duas máquinas, as duas podem ser reparadas em simultâneo com diferentes equipas de manutenção.

Tabela 3.5– Classificação de gravidade de avaria “G”

Classificação de GRAVIDADE "G"

Valores de "G"	Crítérios
Menor 1	Avaria menor, que provoca apenas uma paragem de produção inferior a 1 minuto, e não cria qualquer degradação notável do material.
Médio 2	Avaria média, que provoca apenas uma paragem de produção de 1 a 20 minutos, e necessita apenas de uma reposição do estado inicial e/ou uma pequena reparação no local.
Crítico 3	Avaria importante que provoca uma paragem de produção de 20 a 60 minutos e/ou necessitando de uma troca do material defeituoso.
Catastrófico 4	Avaria grave, provoca uma paragem superior a 60 minutos ou implicando problemas potenciais de segurança e/ou produção de peças não conformes.

Tabela 3.6– Classificação de frequência de ocorrência de avarias “F”

Classificação de FREQUÊNCIA de OCORRÊNCIA "F"

Valores de "F"	Critérios
Praticamente inexistente 1	A possibilidade de uma avaria acontecer é muito baixa desde que os elementos ou componentes escolhidos são utilizados em aplicações similares e que os efeitos tenham sido inexistentes (< 1 avaria/ano)
Possível 2	Uma avaria ocasional aparece em materiais similares existentes em produção. No caso de material novo nem todas as condições estão reunidas para garantir a sua não avaria. (1 avaria no máximo por trimestre)
Certo 3	Elemento ou componente que tradicionalmente tenha causado alguns problemas no passado. (1 avaria no máximo por semana)
Frequente 4	Elemento ou componente onde há certeza que a avaria se produzirá frequentemente ou quando existe dúvidas sobre o material novo. (1 a 3 avarias por dia)

Tabela 3.7– Classificação de não-deteção de avaria “D”

Classificação de não-DETECÇÃO "D"

Valores de "D"	Critérios
1	Existe sinal de que a avaria pode ocorrer e que o operador pode evitar por uma acção preventiva, ou existe um alerta automático de um acidente.
2	Existe um sinal antes de ocorrer a avaria mas existe o risco de o operador não o perceber.
3	o sinal antes de ocorrer a avaria não é facilmente detectável.
4	Não existe qualquer sinal antes da ocorrência da avaria.

3.6. Análise de resultados e aplicação de modelos de custos

Para a contabilização dos custos de manutenção considerou-se um custo horário do técnico subcontratado de manutenção de 35 euros/hora, tempo de operação e de deslocação.

Antes de a empresa fazer o contrato de 200 horas anual, o custo da manutenção na empresa J. Deus era tal como se apresenta na tabela 3.8, com o custo de mão-de-obra de 559 euros e com custo de deslocação do técnico de 240 euros, respectivamente.

Tabela 3.8- Custo de uma operação de manutenção na J. Deus

Descrição	Preço Total
Fornecimento de Drive do Eixo Z - Novo	€ 1.800,00
Reparação de Motor Eixo Z	€ 1.350,00
Transportes de Material	€ 80,00
13 Horas de Trabalho na máq. DMF 220 (intervenção no eixo Z)	€ 559,00
3 Deslocações do técnico	€ 240,00
TOTAL	€ 4.029,00

Na tabela acima o custo total de 4.029,00 Euros que corresponde a uma intervenção de manutenção da máquina CNC designada por DMF 220 em que o custo do técnico é de 43 euros/hora. A deslocação do técnico tem o custo de 80 euros e que as 3 deslocações fazem um total de 240 euros.

Dado o elevado custo que se verificava, o departamento de produção decidiu fazer um contrato anual de 200 horas e continuar com o mesmo tipo de manutenção “manutenção curativa” (ou seja, reparar quando avariar).

Este contrato é experimental. No final do mesmo decidir-se-á sobre a melhor forma de gerir a manutenção na empresa. Mas a observação feita aos dados da tabela 3.1 leva-nos a acreditar que o número de horas anual será inferior a 200 horas, o que poderá levar a redução das horas contratuais.

Analizou-se também a possibilidade de se empregar um técnico de manutenção mas, concluímos que não convém empregar, devido a alto salário de um técnico de manutenção (em torno de 2500 euros/mês) e ainda devido a curtos tempos de cada intervenção e o números de vezes com que o técnico se desloca para as referidas intervenções por cada mês, tal como se analisou a tabela 3.1, não se justifica ter o técnico em permanência, continuando deste modo a subcontratar o serviço de manutenção.

3.7. Conclusão do capítulo 3

Neste capítulo tratou-se de caracterizar a empresa e as máquinas estudadas, apresentou-se a sequência da ordem de trabalhos internamente na empresa J. Deus - Setúbal, através de um organigrama, e abordou-se a organização da manutenção da empresa.

Através do registo histórico de avarias nas máquinas CNC foi possível agrupar as máquinas por modos de avarias e, assim, determinaram-se as máquinas críticas através do uso da distribuição Weibull (software Excel), com a qual se determinou o parâmetro de forma β . A sua interpretação levou-nos a concluir que as máquinas devem continuar com o tipo de manutenção curativa, ou seja, o tipo de manutenção mais económico para as avarias que se apresentam nas máquinas CNC estudadas.

Apresentou-se a ferramenta FMECA de uma das duas máquinas críticas em termos de avarias, tendo calculado a criticidade das avarias.

Analisou-se ainda a possibilidade de se empregar um técnico de manutenção mas, após a análise da tabela 3.1, concluiu-se que não convém contratar.

Capítulo 4

Conclusões

4.1. Conclusões

Através da presente dissertação foi possível demonstrar a importância que tem a aplicação dos conceitos de manutenção industrial, fiabilidade, manutibilidade e disponibilidade, como ferramenta de apoio a tomada de decisão. Apesar de esta metodologia ter sido aplicada em máquinas CNC, esta também pode ser aplicada para análise de outros sistemas como por exemplo: análise de uma rede de transportes, de uma rede de distribuição eléctrica, entre outros.

No âmbito do principal objectivo desta dissertação, estudo da fiabilidade em máquinas CNC através da análise de registos de históricos de avarias das 9 máquinas CNC, concluímos ter atingido o objectivo inicialmente proposto, na medida em que se seleccionaram duas máquinas críticas em termos de avarias e com modos de avarias frequentes: problema eléctrico, geometria dos eixos e avaria do spindle. A análise feita levou-nos a sugerir o tipo de manutenção mais adequado para cada máquina. Utilizou-se a ferramenta FMECA para a determinação do índice de criticidade. No caso de estudo aqui apresentado não foi tratado o diagrama de Causa-Efeito ou diagrama de Ishikawa para melhoria de desempenho.

Uma vez concluído que a máquinas 3 e a máquina 9 apresentam maior criticidade em termos de avarias, implicaria sugerir o tipo de manutenção preventiva para estas duas máquinas. Mas, ao avaliar-se o valor do parâmetro de forma, β , que nos indica a taxa de avarias nas figuras de 3.18 a 3.21, e como todos eles são inferiores à unidade ($\beta < 1$), por isso, é recomendado o tipo de manutenção curativa. Estas máquinas na curva geral de avarias estão situadas na primeira parte, com taxa de avarias decrescente e é caracterizada por mortalidade infantil.

Para as restantes máquinas, por apresentarem menor número de avarias, conforme apresentado na tabela 3.2, recomenda-se continuar com o tipo de manutenção curativa (ou seja, reparar quando avariar).

Analizamos a possibilidade de se empregar um técnico de manutenção, mas, após a análise da tabela 3.1, concluímos que não convém contratar.

4.2. Propostas para trabalho futuro

A análise de históricos de avarias das máquinas com vista à melhoria da sua fiabilidade já foi objecto de muitos trabalhos de investigação no âmbito de Mestrado em manutenção industrial, e também não se esgotará nesta dissertação, visto que os processos de decisão em gestão da manutenção para assegurar a eficácia das máquinas dependem grandemente de informação retirada do registos históricos de avarias e reparações, a qual, depois de transformada em indicadores como: fiabilidade, manutibilidade e disponibilidade, proporcionam conhecimento que ao ser devidamente utilizado, pode contribuir positivamente no desempenho da manutenção e consequentemente na produção de qualquer empresa.

Durante o período da realização do caso de estudo na empresa J. Deus, tive a oportunidade de constatar a interligação entre os vários sectores da empresa incluindo a gestão de topo, comunicando-se de forma clara o que permite eliminar as possíveis dúvidas e priorizando o trabalho.

Com esta constatação e dada a importância da TPM, tal como descrito no capítulo 2, revisão bibliográfica, constatei que na empresa se está a aplicar alguns pontos chave da TPM, por essa razão, Eu gostaria de sugerir que se implementasse de facto a técnica da TPM de modo a oficializa-lo, visto que existe o acompanhamento das operações de manutenção por parte dos elementos da gestão de topo da empresa.

Poderia ainda fazer parte de estudos futuros a análise da possibilidade de dar formação em manutenção a um operador de máquinas, com o objectivo de reduzir custos com a terceirização do serviço de manutenção.

Bibliografia utilizada

- ASSIS, Rui. **-Apoio à Decisão em Gestão da Manutenção: Fiabilidade e Manutenibilidade**. Lidel - edições técnicas, Lda. Lisboa, 2004. 384p.ISBN: 972-757-298-7
- BRAVO, Pedro M. L. -Estudo de melhoria do planeamento e Controlo da Manutenção numa Empresa de metalomecânica. Lisboa: Universidade Nova de Lisboa, 2013.107 p. Dissertação de mestrado.
- CABRAL, José S.-**Organização e Gestão da Manutenção: dos conceitos à prática**. 3ª ed. Lisboa: Lidel- edições técnicas, Lda, 1998. 337 p. ISBN 972-757-052-6
- CABRITA, C. P.; MATIAS, J. C.; SANTOS, F. B. -**Generalização dos conceitos de manutibilidade e disponibilidade**. Beira Interior- Artigo científico 118/119.Faculdade de Engenharia da Universidade da Beira Interior, 3º e 4º Trimestre de (2013).
- DHILLON, B. S. -**Maintainability, maintenance and reliability for engineers**. Florida, 2006.
- FARINHA, J. T.-**Manutenção: A Terologia e as Novas Ferramentas de Gestão**. 1ª ed. Lisboa: Monitor, 2011.185 p. ISBN 978-972-9413-82-7.
- FERREIRA, Luís A. -**Uma Introdução à Manutenção**. 1ª ed. Porto: Publindústria, edições técnicas, 1998. 190 p. ISBN 972-95794-4-X
- FREY, Robert; GOGUE, Marie Jean.- **Princípio de Gestão da Qualidade**. Lisboa: Fundação C. Gulbenkian, 1989. ISBN 972-31-0497-0
- GONÇALVES, João de P. – **Análise de fiabilidade de máquinas de soldar por feixe de electrões: um caso de estudo**. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2006. 137 p. Dissertação de mestrado.
- LAFRAIA, João R. B.-**Manual de Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade**. 3ª ed. Rio de Janeiro: Quality mark Editora Lda, 2008. 374 p. ISBN 978-85-7303-792-0
- MARIMBA, A.; FARINHA, T.; VASCONCELOS, C. -**Diagnóstico da Manutenção: Um passo Fundamental na sua Reorganização**. Lisboa: Manutenção N° 65. 2º Trimestre (2000).
- MARQUES, Sofia G.-**Manutenção Industrial e Custos do ciclo de Vida: Extracção Oleaginosas**. Monte da Caparica: Faculdade de Ciência e Tecnologia de Monte da

Caparica, 2009. 128 p. Dissertação de mestrado.

- MONCHY, François, **-La function maintenance: Formation à la gestion de la maintenance industrielle**. 2ª ed. Paris: Masson editeur, 1991. 457 p. ISBN 2-225-82392-3

- MONTEIRO, Amândio M. S. C. **-Fiabilidade de equipamentos na indústria automóvel: Disponibilidade e manutibilidade, gestão técnica de uma linha de produção**. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2000. 163 p. Tese de mestrado.

- O'CONNOR, Patrick D. T. **-Practical Reliability Engineering**. 3ª ed. Inglaterra: John Wiley & Sons, Lda, 1995. ISBN 0-417-92696-5

- PEREIRA, Filipe J. Didelet; VIEGAS, José C. – **Manual de apoio a disciplina de Manutenção**. ESTSetúbal: IPS, 2001/2002. – 91 p.

-PEREIRA, Filipe J. Didelet; SENA, Francisco M. V. **-Fiabilidade e sua aplicação à Manutenção**. 1ª ed. Porto: Publindústria, edições técnicas, 2012. 160 p. ISBN 978-972-8953-99-7

- PINTO, M. V. **-Gestão da Manutenção**. Edição IAPMEI, 1994. ISBN 972-9205-57-4

-SOURIS, J.-P., **-Manutenção Industrial: custo ou benefício?**. Lisboa: Lidel- Edições técnicas Lda, 1992. 173 p. ISBN 972-9018-25-1

- AFNOR: 1987, Paris – **Maintenance industrielle**: Recueil de normes.

-NP EN 13306.2007, Instituto Português da Qualidade **-Terminologia da manutenção**.

- MACHADO, Dora G. – **Curva ABC** [Em linha]. Brasil, actual. 12 de Setembro 2013. [Consult. 20 Fevereiro 2014]. 28p. Disponível em WWW:

<<http://pt.slideshare.net/doramachado/20130912-curva-abc>>

- AZEVEDO, Américo L. **-Mundo cnc** [Em linha]. Brasil, [Consult. 12 Abril 2013]. Disponível em WWW: <<http://www.mundocnc.com.br/basic3.php>>.

Anexos

Anexo I

No anexo I são analisados os tempos de paragens das máquinas CNC por avarias a partir dos dados obtidos do registo histórico das intervenções por manutenção num período de três anos: 2010, 2011 e 2012, respectivamente.

Tal análise dos tempos de reparação (em horas) teve o objectivo de seleccionar o ano em que houve maior número de intervenções em manutenção, ou seja, o ano mais crítico em termo de paragens das máquinas por indisponibilidade, tal como apresentado na seguinte tabela.

Nº da máq.	Designação da máquina CNC	Tempo de	reparações	(em horas)
		Ano de 2010	Ano de 2011	Ano de 2012
1	300 - FADAL 4020	5	0	10
2	301 - FADAL 6030	23,5	0	0
3	304 - Deckel Maho	31	26,5	15
4	306 - Deckel Maho	47,5	7	0
5	302 - ANAYAK	17,5	0	0
6	303 - DMU50M	5	3	0
7	305 - DMU50M	2	4,5	0
8	308 - GT-1614V	28	9	6
9	307 - DMF 220 linear	41,5	22	63,5
	Total	201 horas	72 horas	94,5 horas

Assim, a análise feita a partir dos dados apresentados na tabela acima, seleccionou-se o ano de 2010 com 201 horas de paragens.

Anexo II

No anexo II apresenta-se o exemplo de folhas de registo histórico de avarias e reparação de máquinas CNC usadas na empresa J. Deus.

Nesta folha é descrito o tipo de alarme associado a avaria e também todos os dados ligados a resolução da mesma avaria. Com os dados obtidos deste registo histórico num período compreendido entre o dia 12 de Janeiro de 2010 e o dia 06 de Maio de 2013, foi possível estudar a fiabilidade das máquinas, o que levou a sugerir o melhor tipo de manutenção a adoptar por cada máquina, de modo a reduzir os custos com a manutenção.

MAQUINARMAIS, COM. MÁQ. E SERVIÇOS, LDA											
Cliente:	João de Deus e Filhos S.A.			Máquina:	DECKEL MAHO DMF 220			Nº de Assistência:			
Morada:	Estrada da Graça 276			Nº de série:	15115222734			Técnico:	Rui Cavaleiro		
C.P./Cidade/País:	2914	507	Setúbal	Controlador:	HEIDENHAIN iTNC 530			Horas Máquina ON:	31376		
Pessoa de Contacto:	Eng. Esteves			software CN:	340490 03 SP7			Horas Árvore ON:	12613		
Telefone:				Fax:				software PLC:	4C0000 HEDR 00C		
								Ano de Construção:	2007		
Alarme:	N 166 C3B0 Motor Z não gira N 63 8BD0 Excessivo erro de arraste Z N 23 8650 Valor I2T do modulo de potência muito alto Z										
Problema:	A máquina só permite dar carga aos motores em modo de porta aberta. O motor do eixo Z não roda. Acionamento do eixo Z e respetivo motor danificados.										
Solução:	Analisar os alarmes que a máquina apresentava. Substituir o acionamento do eixo Z por um acionamento novo. Os erros continuavam, apenas era permitida a entrada de carga nos motores em modo de porta aberta. O motor do eixo Z não roda. Desmontar o motor do eixo Z, verificar se o mesmo roda livre. Constatou-se que este estava completamente danificado. Envia-lo para reparação. Foi desmontado o fuso para verificar o estado dos rolamentos. Montagem do motor reparado, este apresentou problemas no travão. Foi desmontado novamente e enviado para reparação. Montagem do motor com o travão reparado. Testes de bom funcionamento.										
Estado da máquina:				cuidada	☐	normal	☒	mal cuid.	☐		
Funcionamento da máquina:				bem	☒	com problemas	☐	parada	☐		
Necessário Assistência Posterior?				SIM	☐	NÃO	☒				
				elec.	☐	mec.	☐	prog.	☐		
Nº de Pedido ou de Guia de Transporte:											
Qt	usada	pedida	descrição das peças	valor	comentário para o resp. do departamento técnico:						
1	1	1	Reparação do motor Z								
1	1	1	Acionamento novo do eixo Z								
Data	Viagem de / até	pausa	horas	Km	Tempo Trabalho de / até	pausa	horas	horas extras		tipo	outros
								25%	50%	diaria	gastos
27-09-2012			0		8,5 10		1,5				
28-09-2012			0		9 15,5	1	5,5				
10-10-2012			0		9 16	1	6				
			0				0				
			0				0				
			0				0				
			0				0				
			0				0				
			0				0				
			0				0				
			0				0				
			0				0				
total tempo de viagem:			0	0	total horas de trabalho:		13	0	0		- €
Semana	42										
Data:	15-10-2012										
Assinatura do Cliente						Assinatura do Técnico					
O nosso técnico esteve encarregue de realizar as tarefas acima mencionadas. Regulação do horário laboral: Horário laboral normal: 40 h/sem. 8 h/dia. MAQUINAR MAIS, Com. Máq. E Serviços, Lda											
A facturação desta assistência técnica efectuar-se-á de acordo com as nossas taxas horárias em vigor. As horas extras são cobradas para além das 8h de trabalho por dia. Quinta da Fé, nº8 2600-535 Alhandra Portugal											

MAQUINARMAIS, COM. MÁQ. E SERVIÇOS, LDA									
Cliente:	João de Deus e Filhos S.A.			Máquina:	DECKEL MAHO DMU 80T		Nº de Assistência:		
Morada:	Estrada da Graça 276			Nº de série:	11130000823		Técnico:	Rui Cavaleiro	
C.P./Cidade/País:	2914	507	Setúbal	Controlador:	HEIDENHAIN 426		Horas Máquina ON:	65633	
Pessoa de Contacto:	Eng. Esteves			software CN:	F280476 18		Horas Árvore ON:	24699	
Telefone:				software PLC:	GR470.02A		Ano de Construção:	2001	
E-mail:	luis.esteves@jdeus.com								

Dados Enc. Do Cliente		Problema:	
		constante	x
		esporádico	

Alarme:	278 error PLC
Problema:	O armazem de ferramentas não funciona devido a avaria no motor que efectua a subida e descida do mesmo.
Solução:	Montar o motor e redutor novos, vindos da DMG. Montagem de cabos novos também eles vindos da DMG, que fazem a alimentação dos sensores que detetam os fins de curso do armazem. Testes de bom funcionamento

Estado da máquina:	cuidada ☐	normal ☒	mal cuid. ☐
Funcionamento da máquina:	bem ☐	com problemas ☐	parada ☐
Necessário Assistência Posterior?	SIM ☐	NÃO ☒	
		elec. ☐	mec. ☐ prog. ☐

Nº de Pedido ou de Guia de Transporte:	comentário para o resp. do departamento técnico:																														
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr style="background-color: #FFD700;"> <th>Qt</th> <th>usada</th> <th>pedida</th> <th>descrição das peças</th> <th>valor</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> </tbody> </table>	Qt	usada	pedida	descrição das peças	valor																										
Qt	usada	pedida	descrição das peças	valor																											

Data	Viagem de / até	pausa	horas	Km	Tempo Trabalho de / até	pausa	horas	horas extras		tipo diária	outros gastos
								25%	50%		
28-05-2013			0		8,5	10,5		2			
05-06-2013			0		14,5	18		3,5			
			0					0			
			0					0			
			0					0			
			0					0			
			0					0			
			0					0			
			0					0			
			0					0			
total tempo de viagem:			0	0	total horas de trabalho:			5,5	0	0	- €

Semana	23
Data:	05-06-2013
Assinatura do Cliente	Assinatura do Técnico

O nosso técnico esteve encarregue de realizar as tarefas acima mencionadas. Regulação do horário laboral: Horário laboral normal: 40 h/sem. 8 h/dia. MAQUINAR MAIS, Com. Máq. E Serviços, Lda	A facturação desta assistência técnica efectuar-se-á de acordo com as nossas taxas horárias em vigor. As horas extras são cobradas para além das 8h de trabalho por dia. Quinta da Fé, nº8 2600-535 Alhandra Portugal
---	--

MAQUINARMAIS, COM. MÁQ. E SERVIÇOS, LDA

Cliente:	João de Deus e Filhos S.A.	Máquina:	DECKEL MAHO DMU 50M	Nº de Assistência:	
Morada:	Estrada da Graça 276	Nº de série:	71712160	Técnico:	Rui Cavaleiro
C.P. / Cidade / País:	2914 507 Setúbal	Controlador:	HEIDENHAIN TNC 310	Horas Máquina ON:	
Pessoa de Contacto:	Eng. Luís Esteves	software CN:		Horas Árvore ON:	
Telefone:	Fax:	software PLC:		Ano de Construção:	
E-mail:	luis_esteves@ideus.com				

Dados Enc. Do Cliente		Problema:	
		constante	x
		esporádico	

Alarme:	A máquina não apresenta alarmes
Problema:	Quando se dá rotação à spindle, esta está constantemente num para arranca. Quando a velocidade de rotação é baixa existe uma constante inversão de rotação, sendo que a spindle não dá uma volta completa.
Solução:	Diagnosticar o problema acima mencionado. Constatou-se que a avaria estava no spindle drive. Foi feita a reparação da parte de potência. Montagem de todas as peças anteriormente desmontadas e verificação do correcto funcionamento da máquina.

Estado da máquina:	cuidada	☐	normal	☒	mal cuid.	☐
Funcionamento da máquina:	bem	☒	com problemas	☐	parada	☐
Necessário Assistência Posterior?	SIM	☐	NÃO	☒	elec.	☐
					mec.	☐
					prog.	☐

Nº de Pedido ou de Guia de Transporte:					comentário para o resp. do departamento técnico:
Qt	usada	pedida	descrição das peças	valor	
1	1	1	Spindle Drive		

Data	Viagem de / até	pausa	horas	Km	Tempo Trabalho de / até	pausa	horas	horas extras 25%	horas extras 50%	tipo diária	outros gastos
27-09-2013			0		9,5	11,5	2				
04-10-2013			0		16	17	1				
			0				0				
total tempo de viagem:			0	0	total horas de trabalho:			3	0	0	- €

Semana 40

Data:
04-10-2013

Assinatura do Cliente

Assinatura do Técnico

O nosso técnico esteve encarregue de realizar as tarefas acima mencionadas.

Regulação do horário laboral: Horário laboral normal: 40 h/sem. 8 h/dia.

MAQUINAR MAIS, Com. Máq. E Serviços, Lda

A facturação desta assistência técnica efectuar-se-á de acordo com as nossas taxas horárias em vigor.

As horas extras são cobradas para além das 8h de trabalho por dia.

Quinta da Fé, nº8 2600-535 Alhandra Portugal

Anexo III

No anexo III apresentam-se as avarias frequentes. As quais estão agrupadas em modos de avarias e também é descrito em qual das máquinas sucede um determinado modo de avaria e a sua frequência.

Descrição da avaria	Modo de avar.	Nº da Máq.	nº de vezes
Máquina não liga. Reparar motor Heidenhain	A	1 e 3	1 vez, 1 vez
desalinhamento dos eixos X ou Y ou Z	B	1, 6 e 3	2 vezes, 1 vez e 2 vez
Dispositivo de mudança de ferramenta encravado	k	2 e 3	1 vez - 2 vez
Substituição da correia da gama de velocidade baixa e ajuste dos sensores		2 e 5	1 vez
Sistema de arrefecimento da ferramenta e da peça deficiente		2	1 vez
Reparação do encoder no motor do eixo Z	C	2	1 vez
Falha na memória do comando CNC devido ao derrame de ácido das pilhas da memória.		5	1 vez
O monitor não apresenta imagem		5 e 4	1 vez - 1 vez
Nivelamentos da máquina e ensaio de geometria	D B	5	1 vez
Reparação do módulo indramat de comando da árvore de rotação.		5	1 vez
Erro de PLC. Cabo do sensor da porta (fechada) danificado. Máquina fora de nível	E D	6	1 vez
		4	1 vez
A regua do eixo Z está danificada	B	4	1 vez
Máquina fora da geometria do eixo Y	B	4	1 vez
Ruído ao movimentar o eixo Z	y	4	1 vez
Erro de geometria no eixo B	B	3	2 vez
Fonte de alimentação dos eixos + spindle danificada	A	3 e 7	2 vez - 1 vez
desalinhamento dos eixos X ou Y ou Z. falha na fonte de alimentação Heidenhain	B A	3	1 vez
avaría da bomba de massa de lubrificação dos barramentos		3	2 vez
Correcção de cabo do sensor (porta fechada). Nivelamento da Máquina. Erro de geometria do eixo B.	E D B	3	1 vez
Avaria do encoder do eixo B		3	2 vez
Avaria da porta do armazém de ferramentas	E	3	4 vez
avaría do spindle drive	A	7	1 vez
Avaria do extrator de limalhas. Erro de medição do apalpador.		8	1 vez
Reparação do encoder no motor do eixo Z	C	8	1 vez
avaría do spindle drive	A	8	3 vez
Erro de medição do apalpador.		8	1 vez
Caixa do comando partido		8	1 vez
desalinhamento dos eixos X ou Y ou Z	B	8	1 vez
Quando se liga refrigeração interna há fuga de água por fora do eixo B		9	1 vez
Máquina fora da geometria do eixo Y	B	9	1 vez
quando se coloca corrente nos motores, o quadro principal de alimentação dispara.	A	9	1 vez
Avanço de medição de ferramentas muito lento (pilha do controlador gasta)		9	1 vez
Módulo de comando de bombas de lubrificação danificado		9	1 vez
Avaria no eixo B	B	9	1 vez
As drives dos eixos B e C e a placa do controlador têm as ventoinhas avariadas.		9	1 vez
Diferença na mandrilagem de furos, ovalização na rotação de 360° do Spindle	B	9	3 vez
desalinhamento dos eixos X ou Y ou Z	B	9	1 vez
O motor do eixo Z não roda (acionamento do eixo Z e respectivo motor danificado)	B	9	1 vez
Erro de geometria nos eixos rotativos	B	9	1 vez
Diferença na maquinagem no eixo Y	B	9	1 vez
Diferença na maquinagem a 5 eixos. Erro de geometria nos eixos	B	9	1 vez
A máquina deixou de permitir meter corrente nos motores	A	9	1 vez

Modo A: Problema eléctrico

Modo B: Geometria dos eixos

Modo C: Encoder

Modo D: Nivelamento da máquina

Modo E: Problema com a porta da máquina