



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Nuno Miguel Oliveira de Sá

Estudo, desenvolvimento e implementação
de um programa de manutenção numa
empresa de mobiliário



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Nuno Miguel Oliveira de Sá

Estudo, desenvolvimento e implementação
de um programa de manutenção numa
empresa de mobiliário

Dissertação de Mestrado
Ciclo de Estudos Integrados Conducentes ao
Grau de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial

Trabalho efetuado sob a orientação do
Professor Doutor Eusébio Manuel Pinto Nunes

DECLARAÇÃO

Nome: Nuno Miguel Oliveira de Sá

Endereço eletrónico: a69324@alunos.uminho.pt

Telefone: 919161841

Número do Bilhete de Identidade: 13743958

Título da dissertação: Estudo, desenvolvimento e implementação de um programa de manutenção numa empresa de mobiliário.

Orientador: Professor Doutor Eusébio Manuel Pinto Nunes

Ano de conclusão: 2014

Designação do Mestrado: Mestrado Integrado em Engenharia e Gestão Industrial

É AUTORIZADA A REPRODUÇÃO INTEGRAL DESTA DISSERTAÇÃO APENAS PARA EFEITOS DE INVESTIGAÇÃO, MEDIANTE DECLARAÇÃO ESCRITA DO INTERESSADO, QUE A TAL SE COMPROMETE.

Universidade do Minho, ___/___/_____

Assinatura:

AGRADECIMENTOS

No final desta etapa do meu percurso académico, expressa na conclusão deste trabalho, não posso deixar esquecido o contributo de todos aqueles que, direta ou indiretamente, influenciaram o meu trajeto. Aqui demonstro o meu profundo e reconhecido agradecimento.

Um agradecimento especial aos meus pais e restante família, pelo apoio incansável e incondicional que me prestaram ao longo de todos estes anos e, sem os quais o meu percurso académico não seria possível.

Ao Professor Eusébio Nunes, pelo privilégio de ter aceitado orientar o meu projeto e pela sua valorosa ajuda técnica, disponibilidade e acompanhamento prestados.

À empresa Ikea Industry Portugal, nas pessoas do Eng. Luís Almeida e restantes colaboradores do departamento de manutenção, que me proporcionou o primeiro contacto com a indústria e a possibilidade de aplicar e desenvolver os meus conhecimentos.

Aos meus amigos e colegas de curso, por todo o tempo que passamos juntos ao longo desta caminhada, pela sua amizade, incentivo e ajuda.

RESUMO

A presente dissertação pretende descrever o trabalho desenvolvido no âmbito do estágio do Mestrado Integrado em Engenharia e Gestão Industrial da Universidade do Minho. Este consiste no estudo, desenvolvimento e implementação de um programa de manutenção na empresa Ikea Industry Portugal, incidindo particularmente em dois pilares da metodologia *Total Productive Maintenance* - manutenção autónoma e manutenção preventiva (sistemática e condicionada).

No que concerne à manutenção autónoma, definiram-se procedimentos de trabalho normalizado específicos para todos os equipamentos da unidade fabril *Pigment Furniture Factory*, que permitiram transferir ações de manutenção para o departamento de produção. Através de formação adequada, os operadores foram dotados das competências necessárias para efetuar manutenção aos equipamentos do seu posto de trabalho, garantindo assim a sua conservação.

A política de manutenção preventiva foi suportada pelo conceito de índice de criticidade, resultante da avaliação dos indicadores MTBF (*Mean Time Between Failures*), MDT (*Mean Down Time*) e OEE (*Overall Equipment Effectiveness*). Este índice possibilitou a identificação, e conseqüente priorização, das linhas e equipamentos de produção mais críticos. Nestes casos propôs-se a redefinição da estratégia de manutenção preventiva sistemática, sugerindo-se medidas como a alteração de procedimentos de trabalho, o aumento das taxas de preventivas planeadas e efetuadas e a realocação de recursos humanos.

Foram também aplicadas, durante o período de estágio, três técnicas de manutenção preventiva condicionada distintas – análise de vibrações, termografia e ultrassonografia. Este tipo de manutenção permitiu avaliar e controlar o estado de condição de alguns equipamentos, com o intuito de determinar o ponto ótimo para a realização de manutenção preventiva aos mesmos, isto é, o ponto a partir do qual a probabilidade do equipamento falhar assume valores indesejáveis. Sugeriu-se ainda para futuro a aplicação destas três técnicas num maior número de equipamentos e a ponderação da utilização de outras, nomeadamente a análise ao óleo.

PALAVRAS-CHAVE

Total Productive Maintenance; Manutenção Autónoma; Índice de Criticidade; Manutenção Preventiva Sistemática; Manutenção Preventiva Condicionada

ABSTRACT

The present dissertation describes the work developed during the internship included on Master Engineering and Industrial Management from Minho University. Consists of study, development and implementation of a maintenance programme on IKEA Industry in Portugal. It focused particularly on two pillars of Total Productive Maintenance philosophy – autonomous maintenance and preventive maintenance (systematic and condition-based).

As far as what autonomous maintenance is concerned, specific normalized work procedures for all the equipment of Pigment Furniture Factory site were created allowing to transfer maintenance actions to the production department. Through proper training operators were equipped with the necessary skills to perform maintenance on their equipment to ensure their preservation.

The preventive maintenance policy was supported by criticality index, resulting from the MTBF (Mean Time Between Failures), MDT (Mean Down Time) and OEE (Overall Equipment Effectiveness) evaluation. This index allowed identifying and prioritizing the most critical equipment and production lines. On those cases a redefinition of systematic preventive maintenance strategy was proposed and actions such as modification of work procedures, the increasing rates of preventive maintenance and human resources reallocations were suggested.

Three preventive maintenance techniques were also applied during the internship – vibration analysis, thermography and ultrasonography. This kind of maintenance allowed controlling the condition of some equipment to determine the optimum point to perform preventive maintenance. Meaning the best time to where the probability of equipment failure is higher. For future work it is suggested the application of these three techniques on a widely range of equipment and the use of other techniques like oil analysis.

KEYWORDS

Total Productive Maintenance; Autonomous Maintenance; Criticality index; Systematic preventive maintenance; Condition-based maintenance

ÍNDICE

Agradecimentos.....	iii
Resumo.....	v
Abstract	vii
Índice de Figuras	xiii
Índice de Tabelas.....	xv
Lista de Abreviaturas, Siglas e Acrónimos	xvii
1. Introdução	1
1.1 Enquadramento.....	1
1.2 Objetivos.....	2
1.3 Metodologia de Investigação.....	2
1.4 Estrutura da Dissertação	4
2. Revisão da Literatura	5
2.1 Conceito de Manutenção	5
2.2 Tipos de Manutenção.....	6
2.2.1 Manutenção Preventiva.....	6
2.2.2 Manutenção Corretiva.....	9
2.3 Organização e Gestão da Manutenção.....	10
2.3.1 Estrutura Interna.....	10
2.3.2 Planeamento e Programação do Trabalho.....	11
2.3.3 Relatório de trabalhos e registo histórico.....	12
2.3.4 <i>Software</i> de Manutenção	12
2.4 Indicadores de Desempenho.....	13
2.4.1 Taxa de avarias.....	14
2.4.2 MTBF.....	15
2.4.3 MTTR.....	16
2.4.4 Disponibilidade	16
2.4.5 OEE.....	17
2.4.6 Custos de manutenção	18
2.5 Metodologia TPM.....	20
2.5.1 Finalidade	20

2.5.2	Oito atividades de apoio	21
2.5.3	Manutenção Autónoma	24
2.6	Standard Work	26
3.	Caso de Estudo.....	29
3.1	Grupo IKEA	29
3.2	IKEA Industry Portugal Lda.....	30
3.3	Processo produtivo da PFF	31
3.4	Análise da situação existente	32
3.5	Principais desafios	34
4.	Programa de MA.....	37
4.1	Procedimentos de trabalho.....	37
4.2	<i>Software</i> de gestão documental	39
4.3	Formação	41
4.4	Seguimento / Controlo.....	42
5.	Índice de Criticidade	45
5.1	Modelo de cálculo do índice de criticidade	46
5.2	Classificação das linhas de produção	47
5.3	Análise dos equipamentos críticos	51
5.4	Sugestões de melhoria	54
6.	Manutenção Preventiva Condicionada	57
6.1	Análise de vibrações	57
6.1.1	Equipamentos inspecionados	57
6.1.2	Caracterização da análise	59
6.1.3	Critérios de avaliação	60
6.1.4	Resultados obtidos nos ensaios dinâmicos.....	61
6.1.5	Análise de resultados e recomendações	65
6.2	Termografia	66
6.2.1	Introdução.....	66
6.2.2	Anomalias térmicas detetadas e ações corretivas.....	67
6.3	Ultrassonografia.....	70
6.3.1	Introdução.....	70

6.3.2	Custo energético do ar comprimido	71
6.3.3	Fugas detetadas	72
6.3.4	Ações de manutenção corretiva.....	73
7.	Conclusões	75
7.1	Considerações gerais	75
7.2	Perspetivas de trabalho futuro	76
	Referências Bibliográficas	77
	Anexo I – Lista de produtos da PFF.....	81
	Anexo II – Layout do Sistema Produtivo da PFF	83
	Anexo III – Áreas e Linhas de Produção da PFF	84
	Anexo IV – Instrução Trabalho Manutenção Preventiva (MIT).....	85
	Anexo V – Registo Atual Manutenção Autónoma (EIRM).....	86
	Anexo VI – Calendarização Manutenção Autónoma (3 turnos)	87
	Anexo VII – Standard Operation Sheet (SOS).....	87
	Anexo VIII – Work Element Sheet (WES).....	89
	Anexo IX – Folha de Entrevistas	90
	Anexo X – Teste Avaliação Competências Manutenção Autónoma	91
	Anexo XI – Novo Registo Manutenção Autónoma	92
	Anexo XII – Cheklist Auditoria Manutenção Autónoma	93
	Anexo XIII– Valores de MTBF, MDT, OEE e IC registados de Novembro a Junho	94
	Anexo XIV –Nível global de vibrações - Severidade vibratória (ISO 10816) e Severidade “Envelope”	96
	Anexo XV– Análise de vibrações – Resultados e Recomendações.....	97

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 - Fases de um ciclo da Investigação-Ação (Susman & Evered, 1978).....	3
Figura 2.1 - Tipos de manutenção segundo a norma NP EN 13306 (2007)	6
Figura 2.2 - Estrutura da organização da manutenção (adaptado de C. V. Pinto, 1999)	10
Figura 2.3 - Organização do trabalho de manutenção (adaptado de C. V. Pinto, 1999).....	11
Figura 2.4 - Curva da banheira (adaptado de Szilágyi, 2009).....	14
Figura 2.5 – Fatores que compõem o OEE (Eddin, 2014)	17
Figura 2.6 - Iceberg de custos (adaptado de Cabral, 2004).....	18
Figura 2.7 - Ponto ótimo de custos (Mirshawa & Olmedo, 1993).....	19
Figura 2.8 - Oito atividades de apoio à metodologia TPM (LeanProduction, 2013).....	21
Figura 3.1 - Estrutura do Grupo IKEA (IKEA, 2014)	29
Figura 3.2 - Unidades fabris da IKEA Industry Portugal Lda	30
Figura 3.3 - Organograma do departamento de manutenção da PFF.....	32
Figura 3.4 - <i>Software</i> de manutenção Aretics Tekla	33
Figura 4.1 - Circuito de elaboração de procedimentos de trabalho.....	38
Figura 4.2 - Exemplos de procedimentos SOS	40
Figura 4.3 - Criação de novo procedimento	40
Figura 4.4 - Desvios do <i>standard</i>	43
Figura 4.5 - Resolução de problemas	44
Figura 5.1 - Composição do índice de criticidade.....	46
Figura 5.2 - Diagrama de Pareto da criticidade das linhas de produção	51
Figura 5.3 - <i>Layout</i> da linha 948013	52
Figura 5.4 - Distribuição da indisponibilidade da linha 948013 pelos equipamentos de produção	52
Figura 5.5 - <i>Layout</i> da linha 950088	53
Figura 5.6 - <i>Layout</i> da linha 231140	53
Figura 5.7 - Distribuição da indisponibilidade da linha 950088 pelos equipamentos de produção	54
Figura 5.8 - Distribuição da indisponibilidade da linha 231140 pelos equipamentos de produção	54
Figura 6.1 - Sistema de ventilação: ventiladores e câmaras de armazenamento (filtros)	57
Figura 6.2 -Motor de ventilador	58

Figura 6.3 - Espectro de frequência em “envelope” (gE) registado no ponto 4 do F1V1.....	61
Figura 6.4 - Espectro de frequência em velocidade (mm.s ⁻¹ RMS) registado no ponto 1 do motor do ventilador F2V1	62
Figura 6.5 - Espectro de frequência em “envelope” (gE) registado no ponto 4 do F3V1.....	62
Figura 6.6 - Espectro de frequência em “envelope” (gE) registado no ponto 4 do F3V3.....	63
Figura 6.7 - Espectro de frequência em “envelope” (gE) registado no ponto 2 do F4V1.....	63
Figura 6.8 - Espectro de frequência em “envelope” (gE) registado no ponto 3 do F6V1.....	64
Figura 6.9 - Espectro de frequência em “envelope” (gE) registado no ponto 3 do F10V1.....	65
Figura 6.10 - Termograma do disjuntor Q4 do quadro U2051644	68
Figura 6.11 - Termograma do disjuntor Q9201 do quadro U2050674	68
Figura 6.12 - Termograma do disjuntor de chegada Q1 do quadro U2051640	68
Figura 6.13 - Termograma do disjuntor de chegada Busbar 39 do quadro U2050481	69
Figura 6.14 - Termograma do disjuntor de chegada do quadro de saída da linha 231140	69
Figura 6.15 - Termograma das ligações 14FU1e 15FU1 do quadro U2050733	69
Figura 6.16 - Medidas de eficiência energética nos sistemas de ar comprimido	70
Figura 6.17 - Localização de fugas por setor da PFF.....	73

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 - Custos diretos e indiretos de manutenção (adaptado de Cabral, 2004)	19
Tabela 2.2 - 5S (adaptado de J. P. Pinto, 2013)	22
Tabela 4.1 - Lista de símbolos utilizados nos procedimentos	39
Tabela 4.2 - Norma para atribuição de título do SOS	39
Tabela 5.1 - Limites de pontuação de criticidade do MTBF	47
Tabela 5.2 - Limites de pontuação de criticidade do MDT	47
Tabela 5.3 - Limites de pontuação de criticidade do OEE	47
Tabela 5.4 - Criticidade das linhas de produção segundo o MTBF	48
Tabela 5.5 - Criticidade das linhas de produção segundo o MDT	49
Tabela 5.6 - Criticidade das linhas de produção segundo o OEE	49
Tabela 5.7 - Classificação final das linhas de produção segundo o IC	50
Tabela 5.8 - Manutenção planeada e preventivas executadas para linhas críticas em MTBF (Novembro-Junho)	55
Tabela 6.1 - Motores sujeitos a análise de vibrações	58
Tabela 6.2 - Estado de operacionalidade dos equipamentos por área de produção	66
Tabela 6.3 - Caudal de fugas de ar comprimido (l/min), em função da pressão e do diâmetro do furo	71
Tabela 6.4 - Custo anual de fugas de ar comprimido (€), em função da pressão e do diâmetro do furo	72
Tabela 6.5 - Número de fugas por nível	72

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS

5W - Cinco Porquês

Cd - Custos diretos

Ci - Custos indiretos

CMMS - Computerized Maintenance Management Systems

D - Disponibilidade

E - Eficiência

EB&D - Edge Band & Drill

EHS - Environment Health and Safety

EIRM – Registo atual manutenção autónoma

IC – Índice de Criticidade

JIPM - Japan Institute of Plant Maintenance

KPI - Key Performance Indicator

LOTO - Lock Out Tag Out

MA - Manutenção Autónoma

Máx - Máximo

MDF - Medium Density Fiberboards

MDT - Mean Down Time

Méd - Médio

Mín - Mínimo

MTBF - Mean Time Between Failures

MTTR - Mean Time to Repair

MWT - Mean Waiting Time

NP - Norma Portuguesa

OEE - Overall Equipment Effectiveness

OT - Ordem de trabalho

PFF - Pigment Furniture Factory

Q - Qualidade

RMS - Valor eficaz de vibração

RPM - Rotações por minuto

RW - Rework

SOS - Standard Operation Sheet

TPM - Total Productive Maintenance

TPS - Toyota Production System

WES - Work Element Sheet

WO - Work Order

gE - Aceleração de envelope

h -Hora

kW - Kilowatt

kWh - Kilowatt-hora

l - Litro

m – Metro

mm –Milímetro

mm. s⁻¹ - Milímetro por segundo

min - Minuto

% - Percentagem

°C - Grau Celsius

€ - Euro

λ - Taxa de avarias

ΔT - Variação de temperatura

1. INTRODUÇÃO

Este trabalho surgiu no âmbito da unidade curricular de Dissertação do Mestrado Integrado em Engenharia e Gestão Industrial, foi desenvolvido nas instalações da IKEA Industry Portugal, mais concretamente na unidade da Pigment Furniture Factory (PFF), e consiste no estudo, desenvolvimento e implementação de um programa de manutenção.

Neste capítulo apresenta-se o enquadramento do trabalho, os objetivos propostos, a metodologia de investigação utilizada e a estrutura do documento.

1.1 Enquadramento

A crescente concorrência e a procura constante de resultados cada vez melhores, acelerados pelo processo de globalização, despertam nas empresas a necessidade de assegurar a sua sobrevivência num cenário cada vez mais complexo e competitivo. A melhoria contínua dos processos em todas as funções organizacionais constitui hoje uma “obrigação”, sendo fundamental para alcançar vantagens competitivas sobre os demais intervenientes no mercado.

A função manutenção não foge à regra. Aquela que era vista como um mal necessário e menosprezada face a outras áreas como a produção (Park & Han, 2001), assume atualmente um papel central nas organizações, destacando-se como um fator que permite a melhoria da produtividade e qualidade de forma contínua.

No seguimento desta mudança de paradigma surgiu, no Japão, no início da década de 70, o conceito de *Total Productive Maintenance* (TPM). Trata-se de uma metodologia que visa melhorar a eficiência do processo de manutenção, aumentando a disponibilidade e fiabilidade das máquinas/ equipamentos de produção e reduzindo a necessidade de um maior investimento de capital (Chan, Lau, Ip, Chan, & Kong, 2005).

Segundo a manutenção planeada, uma das atividades fundamentais de suporte desta metodologia, a manutenção deve ser realizada preventivamente, ao contrário do que existia no passado, tempo em que só era efetuada de uma forma corretiva, isto é, em caso de avaria e consequente paragem do equipamento.

Outra das atividades-chave de sucesso do TPM é o desenvolvimento da prática de manutenção autónoma (MA), tendo vindo a afirmar -se como um diferencial de grande potencial com vista a melhorar os resultados de produtividade e minimizar custos no processo produtivo (Min, Ahmad, Kamaruddin & Azid, 2011). Baseada no pressuposto que ninguém

conhece melhor o equipamento do que o seu operador, a manutenção autónoma faz valer esse facto e envolve o operador nas atividades de manutenção como complemento das ações realizadas pelos técnicos, estabelecendo uma ponte de ligação entre departamentos.

Associando a estas duas atividades de desenvolvimento da metodologia TPM (manutenção preventiva e autónoma), ferramentas *Lean*, com foco na redução de desperdícios, consegue-se uma melhoria considerável no desempenho das atividades de manutenção e, por conseguinte, da competitividade empresarial.

1.2 Objetivos

Este trabalho tem como principal objetivo analisar a situação da manutenção na empresa e desenvolver um programa com base em melhorias passíveis de serem implementadas a curto prazo. De entre os objetivos específicos, destacam-se:

- Elaborar um índice de criticidade para as linhas e equipamentos de produção, recorrendo à análise de um conjunto de indicadores de desempenho.
- Monitorizar o funcionamento dos equipamentos, com base nos registos e análises criteriosas de indicadores de desempenho.
- Desenvolver um modelo de inspeção que permita aos operadores a identificação de anomalias/problemas nos seus postos de trabalho.
- Elaborar documentação *standard* específica que, posteriormente, será utilizada pelos operadores na realização da manutenção autónoma.
- Implementar o programa de manutenção autónoma como rotina da empresa.
- Aplicar técnicas de manutenção preventiva condicionada em equipamentos/componentes críticos.

1.3 Metodologia de Investigação

Face ao projeto proposto, desenvolvido em ambiente industrial, decidiu-se que a metodologia mais adequada para cumprir os seus objetivos seria a Investigação-Ação (*Action Research*). Tal como o nome indica, esta abordagem foca-se em duas vertentes: a investigação, da qual resultam considerações relevantes que permitem aumentar a compreensão do investigador, da empresa e da comunidade académica (Lawler, 2008); e a ação, onde através do envolvimento do investigador num contexto real e de uma participação ativa da comunidade estudada, se implementam medidas que permitem solucionar problemas específicos (Curry, 2005).

Segundo Susman & Evered (1978), a Investigação-Ação possui seis características intrínsecas que a diferenciam de outras metodologias de investigação, sendo elas a orientação para o futuro, o seu carácter colaborativo, o pressuposto de desenvolvimento do sistema estudado, a geração de teoria fundamentada na ação e os factos de ser independente e situacional.

Qualquer método científico, para ser aplicado com sucesso, necessita de seguir um conjunto de fases e procedimentos bem definidos. De acordo com Sousa & Baptista (2011), esta metodologia desenvolve-se numa espiral de ciclos, isto é, num processo de melhoria contínua, sendo que para se obterem melhores resultados, mais ciclos se deve percorrer. Cada ciclo é constituído por cinco fases, representadas na figura 1.1 (O'brien, 2001).

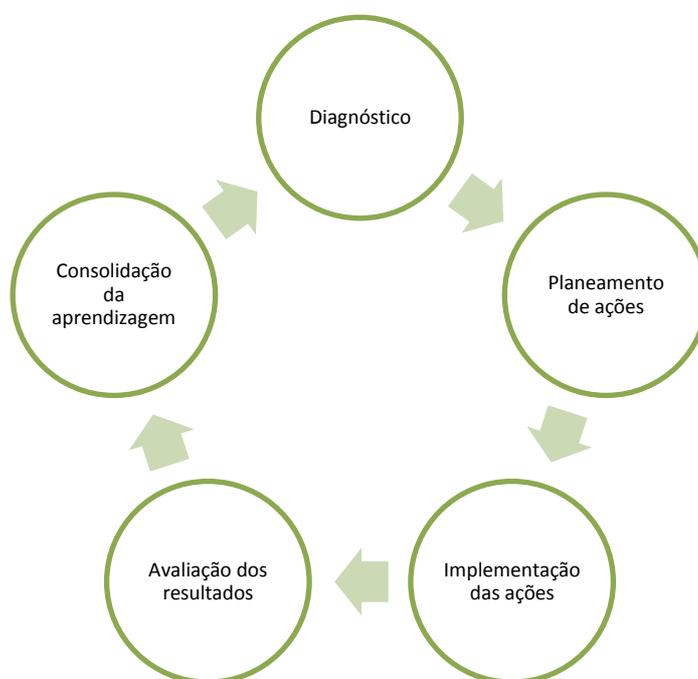


Figura 1.1 - Fases de um ciclo da Investigação-Ação (Susman & Evered, 1978)

Assim, numa primeira fase deste projeto, realizou-se o diagnóstico e a análise da situação existente na empresa, identificando e definindo-se os principais problemas/desafios relacionados com a manutenção. Posteriormente, foram propostas e implementadas várias ações com vista à resolução desses problemas, das quais se destacam a elaboração do índice de criticidade, programa de manutenção autónoma e o recurso à análise condicionada. Por fim, analisaram-se os resultados de modo a verificar o sucesso das ações desenvolvidas. Na fase da consolidação da aprendizagem destacam-se as conclusões obtidas no projeto e o trabalho futuro a realizar num novo ciclo.

1.4 Estrutura da Dissertação

A dissertação encontra-se dividida e organizada em sete capítulos distintos. No presente e primeiro capítulo faz-se uma introdução ao projeto, salientando-se o enquadramento do tema, os objetivos a alcançar, a metodologia de investigação aplicada e a estrutura do trabalho.

No segundo capítulo, pretende-se através de uma pesquisa bibliográfica, com recurso a artigos científicos, livros e Internet, abordar a temática da manutenção e do *standard work*, tentando desta forma conhecer o estado da arte e aproximar os modelos teóricos aos casos práticos.

Posteriormente, no capítulo três, é introduzido o caso de estudo, apresentada a empresa e, mais especificamente, a fábrica onde se desenvolveu o trabalho, fazendo-se referência à estrutura organizacional, visão, missão e valores, produtos e processo produtivo, bem como, às suas necessidades sob o ponto de vista de manutenção.

Segue-se o capítulo quatro, no qual se descreve todo o processo que deu origem ao programa de manutenção autónoma, desde a elaboração de procedimentos de trabalho até à fase de controlo, passando pela etapa de formação dos operadores.

No capítulo cinco desenvolveu-se o conceito de índice de criticidade, que consiste na classificação e ordenação das linhas e equipamentos de produção de acordo com o seu grau de criticidade na manutenção, sugerindo-se melhorias e a alteração da política de manutenção para as linhas e equipamentos mais críticos.

No sexto capítulo, são descritas as técnicas de manutenção condicionada implementadas pela empresa durante o período decorrente do estágio, a forma como foram aplicadas e os benefícios que resultaram da sua aplicação.

Por último, no sétimo capítulo, é efetuado um balanço e a integração do trabalho desenvolvido, finalizando com algumas propostas de trabalho futuro.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Este capítulo tem como objetivo rever e sistematizar os conceitos associados à manutenção industrial. Aborda-se a definição e a importância da manutenção, os tipos de manutenção existentes, a organização interna e a gestão da manutenção, os indicadores de desempenho e a metodologia TPM. Faz-se também referência ao *standard work*, enquadrado como ferramenta *Lean*, e a sua aplicação na manutenção.

2.1 Conceito de Manutenção

Apesar de partilharem significados essenciais comuns, verifica-se que os conceitos relacionados com a manutenção diferem consoante os autores. De forma a tentar uniformizá-los, procedeu-se, em 2007, à elaboração de uma norma sobre terminologia de manutenção - NP EN 13306. Segundo esta norma, o termo manutenção pode ser definido como a “combinação de todas as ações técnicas, administrativas e de gestão, durante o ciclo de vida de um bem, destinadas a mantê-lo ou repô-lo num estado em que ele pode desempenhar a função requerida”.

Tratando-se de uma das funções vitais das empresas, a manutenção deve ser vista como uma das atividades de carácter estratégico, na medida em que presta uma contribuição indireta fundamental na adição de valor aos produtos/serviços disponibilizados no mercado.

Em qualquer tipo de empresa, independentemente dos equipamentos que possui, é importante garantir não só a conservação mas também a disponibilidade dos mesmos, de modo a alcançar o máximo de produtividade e níveis de qualidade elevados (Ferreira, 1998).

Segundo Stevenson (2002) existem bons e vários motivos para evitar situações de paragem por avaria, nomeadamente: evitar paragens no fornecimento de produtos/serviços; evitar perdas associadas às fases de arranque (*start up*) dos processos; evitar o aumento de custos operacionais; manter elevados níveis de qualidade, segurança e condições ambientais; e evitar perda de clientes, reclamações ou mesmo indemnizações por falhas ou acidentes.

De acordo com V. M. Pinto (2004), a importância da manutenção assenta em três razões fundamentais: económicas, legais e sociais. As razões económicas predomina-se com a busca do rendimento máximo dos investimentos efetuados nas instalações e nos equipamentos, prolongando a sua vida útil e mantendo-os em operação o máximo tempo possível. Os fatores legais relacionam-se com a prevenção de situações de insegurança e risco individuais e coletivas, incómodo (ruído, fumos ou odores) e poluição (emissão de gases,

descargas líquidas e resíduos). Por fim, as razões sociais têm que ver com a importância da manutenção na preservação e melhoramento da imagem da empresa, evitando reclamações de qualidade, incumprimento de prazos de entrega, entre outros.

O objetivo da manutenção deve ser definido em consonância com as linhas orientadoras da empresa, de forma a que o objetivo central passe por atingir um equilíbrio entre os custos da não disponibilidade (associada à perda de produção ou serviço) e do incumprimento das questões relacionadas com a qualidade, segurança e condições ambientais, e os custos dos recursos de manutenção, que permitem assegurar o cumprimento desses fatores.

2.2 Tipos de Manutenção

De acordo com a norma NP EN 13306 (2007), existem duas grandes classes de manutenção, que diferem segundo as razões pelas quais são levadas a cabo, que por sua vez podem ser subdivididas noutros tipos (figura 2.1).

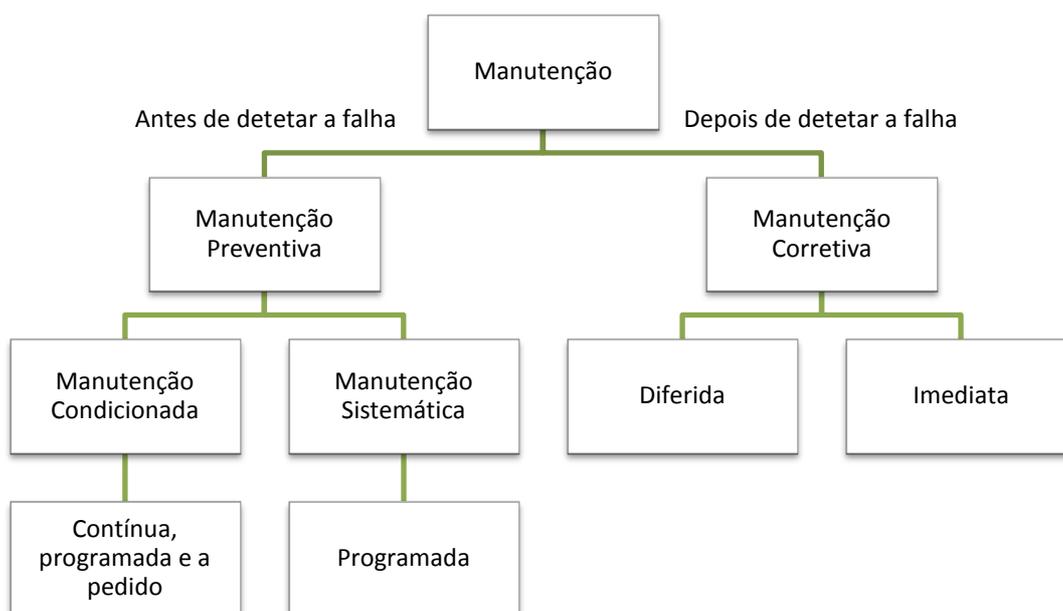


Figura 2.1 - Tipos de manutenção segundo a norma NP EN 13306 (2007)

2.2.1 Manutenção Preventiva

Segundo a norma acima citada, a manutenção preventiva define-se como a “manutenção efetuada 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.”

Este tipo de manutenção consiste num trabalho planeado de prevenção de avarias que possam originar a paragem ou um baixo rendimento dos equipamentos em operação. Esta prevenção fundamenta-se, sob o ponto de vista técnico, nos estudos de fiabilidade dos equipamentos e seus componentes e na sua relação com a probabilidade de ocorrência de avarias (C. V. Pinto, 1999). Na definição do sistema de manutenção preventiva são tidos em conta fatores como o histórico de avarias, estado do equipamento, local de instalação, dados fornecidos pelo fabricante (condições ótimas de funcionamento, pontos e periodicidade de lubrificação, limpeza, ajuste, etc.), entre outros.

A implantação da manutenção preventiva permite obter direta e indiretamente alguns benefícios que se refletem nos custos de funcionamento dos serviços de manutenção, podendo-se destacar:

- Limitação do aparecimento de avarias e conseqüente diminuição do tempo de paragem dos equipamentos, aumentando assim a sua disponibilidade para produção e contribuindo para a redução dos custos indiretos (perdas de produção).
- Redução do risco de acidentes graves devido a avarias, aumentando a segurança dos equipamentos e do pessoal.
- Melhoria e racionalização da utilização dos recursos humanos afetos à manutenção.
- Economia de energia, evitando o aparecimento de fugas de óleo, vapor, ar comprimido, água e outros fluidos envolvidos no processo produtivo.

Existem duas formas de aplicação de um programa de manutenção preventiva: manutenção sistemática, baseada em intervenções de periodicidade fixa, e manutenção condicionada, baseada em intervenções de periodicidade variável. São ambas atividades planeadas, a diferença é que na sistemática o planeamento é “cego” e automático, ao passo que na condicionada o planeamento resulta de uma avaliação de condição (atua em função do estado do equipamento) (Cabral, 2004).

Manutenção Preventiva Sistemática

A manutenção preventiva sistemática pode ser definida como a “manutenção preventiva efetuada a intervalos de tempo preestabelecidos ou segundo um número definido de unidades de utilização mas sem controlo prévio do estado do bem” (NP EN 13306, 2007).

Este tipo de política é a mais usual no ramo industrial, devido essencialmente à sua fácil implementação. Assume que as falhas dos equipamentos ocorrem de uma forma previsível, pelo que são planeadas ações de manutenção com uma periodicidade fixa que permita que sejam realizadas antes da ocorrência da falha, não tendo por base o controlo do estado do equipamento.

Poderá ser aplicada recorrendo a visitas ou inspeções sistemáticas constituídas por verificações periódicas a pontos críticos do equipamento originando intervenções quando a inspeção o revele necessário, e/ou revisões gerais constituídas por trabalhos de manutenção programados efetuados periodicamente com paragem dos equipamentos de produção (C. V. Pinto, 1999).

A maior dificuldade prende-se com a identificação do período de tempo que maximiza a utilização de um determinado equipamento. Esta dificuldade relaciona-se também com o grau de complexidade do equipamento em causa, sendo que quanto mais complexo for, menor será a probabilidade de apresentar um padrão típico de falha.

No caso de ser impossível programar paragens dos equipamentos periodicamente, poderá recorrer-se, em alternativa, à prática de manutenção preventiva condicionada, sem qualquer impacto negativo no desempenho produtivo.

Manutenção Preventiva Condicionada

A manutenção preventiva condicionada consiste na “manutenção preventiva baseada na vigilância do funcionamento do bem e/ou dos parâmetros significativos desse funcionamento, integrando as ações daí decorrentes. A vigilância do funcionamento e dos parâmetros pode ser executada segundo um calendário, a pedido ou de modo contínuo” (NP EN 13306, 2007).

Entende-se por controlo condicionado de manutenção, a determinação do ponto ótimo para executar a manutenção preventiva num equipamento, ou seja, o ponto a partir do qual a probabilidade do equipamento falhar assume valores indesejáveis. A manutenção condicionada é assim efetuada no momento mais oportuno, quando existe evidência experimental de avaria iminente.

É implementada normalmente em três fases distintas: primeiramente a deteção do defeito, recorrendo a um conjunto de técnicas e medição de parâmetros que definem o estado do equipamento; depois segue-se o estabelecimento de diagnóstico, fase onde se localizam a origem e a gravidade dos defeitos; e, por fim, a análise da tendência, fazendo-se um pré-

julgamento do tempo disponível antes da avaria, de modo a determinar o momento de início de vigilância apertada e prever a reparação.

Existe uma série de técnicas de controlo da condição dos equipamentos com aplicação na manutenção, nomeadamente a análise de vibrações, termografia, ultrassonografia, e análise ao óleo.

A análise de vibrações é uma das técnicas mais utilizadas na manutenção condicionada. Faz uso de equipamentos com sensores, capazes de medir a vibração, o que permite realizar análises de tendência, calcular e reportar a condição mecânica do equipamento (Cabral, 2004). As características vibratórias medidas em vários pontos do equipamento são comparadas com os valores correspondentes ao equipamento no seu estado novo, sendo que os desvios sugerem a presença de anomalias. Depois de detetadas as anomalias é possível diagnosticar quais os componentes responsáveis pelas mesmas.

A técnica que permite visualizar e medir a energia infravermelha (calor) emitida pelos equipamentos designa-se por termografia. A deteção de anomalias térmicas, isto é, a existência de áreas mais quentes ou mais frias, permite identificar e localizar problemas em várias áreas de aplicação como o setor elétrico, isolamentos térmicos e refratários.

A ultrassonografia trata-se de uma técnica apropriada para a deteção de fugas de gases ou líquidos em tubos, válvulas e acessórios, e também, para a medição de espessuras de chaparia, tubos e reservatórios.

Por fim, a análise de óleos, também designada como ferrografia, que se destina a estudar e acompanhar o desgaste de órgãos lubrificados através da análise das partículas contidas no seio do lubrificante. Esta técnica consiste na separação dos metais resultantes do desgaste do óleo, tirando partido das suas propriedades ferromagnéticas, abordando aspetos como as dimensões, morfologia das partículas e estrutura cristalina.

2.2.2 Manutenção Corretiva

A manutenção corretiva é vista como a “manutenção efetuada depois da deteção de uma avaria e destinada a repor um bem num estado em que pode realizar uma função requerida” (NP EN 13306, 2007).

A ação principal da manutenção corretiva é, portanto, corrigir ou restaurar as condições de funcionamento de um determinado equipamento ou sistema. Enquanto método único de manutenção torna-se insuficiente, implicando normalmente custos elevados, visto que a falha inesperada pode conduzir a perdas de produção, perdas de qualidade do produto e aumento dos custos indiretos de manutenção (Ferreira, 1998).

Este aumento de custos, associado a uma situação de indefinição no processo produtivo, torna a manutenção corretiva uma opção viável apenas quando os custos de indisponibilidade (custos indiretos da avaria) são inferiores aos custos necessários para evitar as avarias, no caso, por exemplo, de se tratar de equipamentos pouco influentes no processo produtivo.

2.3 Organização e Gestão da Manutenção

Nesta secção aborda-se a estrutura da organização da manutenção e as funções dos vários participantes, as atividades inerentes aos trabalhos de manutenção, e a importância do *software* na gestão da manutenção.

2.3.1 Estrutura Interna

A organização da área técnica da manutenção varia de caso para caso, porém pode caracterizar-se, de uma forma geral, a sua estrutura interna. A divisão de manutenção, conforme se verifica na figura 2.2, é normalmente constituída por áreas ou funções de gestão global, responsáveis pela constituição e atualização de toda a informação de manutenção, gestão de armazéns, subcontratação, planeamento e programação do trabalho; funções especializadas, de apoio a projetos e engenharia de manutenção, destinadas à análise da fiabilidade e manutibilidade dos equipamentos e estudo de soluções de melhoria dos mesmos; e oficinas próprias (mecânica, eletricidade, etc.) que realizam assistência às máquinas, trabalhos preventivos e corretivos (C. V. Pinto, 1999).

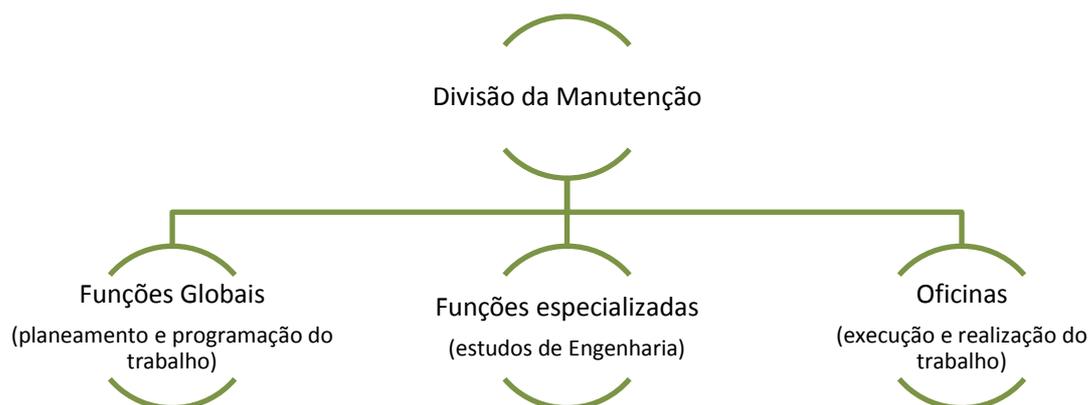


Figura 2.2 - Estrutura da organização da manutenção (adaptado de C. V. Pinto, 1999)

A função manutenção poderá ainda ser auxiliada por outros departamentos como a produção, que, através dos seus operadores, efetua manutenção aos equipamentos e formula pedidos de trabalho corretivo, e qualidade, que tem normalmente a seu cargo a manutenção do equipamento de inspeção, medição e ensaio (instrumentação e equipamento laboratorial).

2.3.2 Planeamento e Programação do Trabalho

Embora pareçam expressões sinónimas, existem diferenças quando se fala em plano de manutenção e programa de manutenção. O plano de manutenção define, com antecedência, a sequência de ações de manutenção a realizar ao longo de um ciclo, enquanto que, no programa de manutenção se estipula as datas de realização dessas mesmas ações, bem como, os recursos necessários para as concretizar (Cabral, 2004).



Figura 2.3 - Organização do trabalho de manutenção (adaptado de C. V. Pinto, 1999)

Segundo C. V. Pinto (1999) e de acordo com a figura 2.3, as atividades de planeamento, preparação e métodos são responsáveis pela elaboração do plano de manutenção, pela preparação das manutenções preventivas nele previstos, pelas manutenções corretivas originadas pelas avarias, pela avaliação dos respetivos custos, prazos de execução e também pelos contratos a estabelecer com entidades externas. A programação, por sua vez, tem como missão estabelecer o ordenamento dos trabalhos de acordo com os prazos e prioridades de execução, avaliar as necessidades de mão-de-obra e oportunidades de recurso à subcontratação. Depois do planeamento e programação, segue-se a realização, durante a qual se executam os trabalhos, garantindo o cumprimento do prazo, custo e qualidade. É nesta fase que se efetua a seleção do pessoal executante para cada trabalho e se orienta e fiscaliza os trabalhos subcontratados.

Estas atividades de manutenção são tradicionalmente suportadas por um documento denominado por ordem de trabalho (OT). Ele transmite o tipo de trabalho que deve ser executado, fornece as instruções e procedimentos para o executar (como e onde realizar), e define o prazo e meios necessários para a sua execução.

A OT serve de suporte para todo o sistema de gestão de manutenção, sob o ponto de vista técnico, económico e organizacional, sendo ainda o documento que permite, através dos dados que contém, a elaboração do registo histórico.

2.3.3 Relatório de trabalhos e registo histórico

Depois de finalizadas as quatro atividades descritas anteriormente, isto é, após a realização da manutenção propriamente dita, é necessário dar conhecimento dos trabalhos de manutenção realizados e da forma como foram concluídos.

Cabral (2004) define o relatório de trabalhos como o componente do sistema de gestão que visa recolher a informação real sobre a manutenção realizada e o registo histórico como o elemento onde essa informação é agregada e organizada. Possui elevada importância no estudo da manutenção, pois é com base nos conhecimentos que este permite obter, que se pode introduzir melhorias no seu desempenho.

Grande parte das vezes, o relatório de trabalhos é feito através da OT, visto que os elementos mais importantes a reportar já constam na mesma ou, no caso de não constarem, podem ser calculados a partir dos existentes. Informações como a data e hora do pedido do trabalho, de início e fim do mesmo, bem como, o tempo de espera, o tempo dedicado à intervenção e o tempo de perda de operacionalidade, são frequentemente reportadas, dando origem ao registo histórico, que possibilita mais tarde a obtenção dos indicadores de desempenho da manutenção.

A partir do registo histórico é possível estudar as avarias dos equipamentos, o seu tipo e frequência de ocorrência e estabelecer a forma de manutenção mais adequada, tendo em vista a otimização do binómio custo de manutenção/disponibilidade operacional.

2.3.4 *Software* de Manutenção

Um sistema de gestão da manutenção deve dispor, por um lado, dos recursos técnicos que permitam atingir com eficácia os objetivos pretendidos e, por outro, gerar informação útil que permita medir desempenhos, estabelecer metas e confrontar resultados.

Atualmente, qualquer sistema de gestão da manutenção é suportado, em maior ou menor grau, pela informática. Segundo Cabral (2004), a seleção de uma aplicação informática deverá constituir o primeiro passo para a sua implementação. Através de um *software* de manutenção, torna-se mais fácil e rápido o acesso à informação, não só por parte dos gestores mas também pelos técnicos de manutenção, sendo possível reduzir o tempo de resposta e o tempo de inatividade (Carnero & Novés, 2006).

Os *softwares* de manutenção, também designados por CMMS (*Computerized Maintenance Management Systems*) consistem num conjunto integrado de programas de computador e arquivos de dados projetado para fornecer aos seus utilizadores um meio eficaz para gerir a enorme quantidade de dados que são gerados pelas organizações de controlo da manutenção (Mobley, Higgins, & Wikoff, 2008). Ainda segundo os mesmos autores, o *software* de manutenção deve possuir um conjunto de recursos que possibilite a identificação e registo de equipamentos, codificação, organização e requisição de materiais e respetiva correlação com os equipamentos, gestão das ordens de trabalho, análise de custos e gestão de informações relacionadas com os recursos humanos.

Atividades como o planeamento e programação dos trabalhos, elaboração do relatório das manutenções efetuadas e análise do registo histórico podem assim ser realizadas através do *software*, libertando os técnicos para tarefas mais produtivas e tornando o trabalho dos gestores mais eficiente.

Apesar dos *softwares* de gestão da manutenção pretenderem trazer benefícios, para que, de facto, funcionem em pleno e constituam uma vantagem competitiva para a empresa, é necessário que se adaptem à sua realidade. De acordo com Kans (2008), mesmo a mais avançada tecnologia implementada numa empresa, não irá trazer, por si só, quaisquer benefícios, se as pessoas não souberem lidar com ela ou se os objetivos da empresa não se enquadrarem com a mesma. Desta forma, deve selecionar-se o grau de detalhe do software de acordo com a maturidade da empresa no que diz respeito ao uso deste tipo de sistemas.

2.4 Indicadores de Desempenho

A importância da melhoria do desempenho dos processos para a indústria tem vindo a intensificar-se e, de modo a serem capazes de medir esta melhoria, as empresas necessitam de desenvolver e implementar indicadores chave de desempenho (KPIs). Estes permitem não só a avaliação da situação atual, como de alterações futuras, permitindo assim uma comparação entre os diferentes momentos (Meland, 2010).

Os indicadores de desempenho podem ser estruturados em três grandes grupos: económicos, técnicos e organizacionais (Stenström, Parida, Kumar, & Galar, 2013). Por norma, os mais utilizados na área da manutenção são os indicadores técnicos, nomeadamente a taxa de avarias, o MTBF, que traduz o conceito de fiabilidade, o MTTR que possibilita medir a manutibilidade, e a disponibilidade. Os indicadores económicos permitem estimar e

relacionar os custos da manutenção e os indicadores organizacionais são usados, normalmente, na avaliação dos recursos humanos pertencentes à manutenção.

Segundo a NP EN 15341 (2009), um indicador é relevante quando o seu valor ou a sua evolução estão diretamente relacionados com o parâmetro de desempenho a ser medido, devendo também ser fundamental na tomada de decisões.

2.4.1 Taxa de avarias

A avaria pode ser definida como a cessação da aptidão de um bem para cumprir a função requerida (NP EN 13306, 2007), isto é, quando se torna impossibilitado de cumprir o objetivo para o qual foi concebido.

Efetuada uma análise ao histórico de avarias de um determinado equipamento ou componente, é possível perceber a frequência com que elas ocorrem, possibilitando assim estabelecer um padrão de avaria.

A taxa de avarias exprime exatamente o número de avarias por unidade de utilização. A unidade de utilização varia consoante o equipamento / componente a estudar, podendo ser expressa em tempo, distância, etc. No caso de máquinas de produção, para calcular a taxa de avarias, é comum utilizar-se a seguinte expressão:

$$\lambda = \frac{N^{\circ} \text{ de avarias}}{\text{Tempo total de funcionamento}} \quad (2.1)$$

A experiência prática demonstra que a taxa de avarias para um determinado equipamento/ componente varia de acordo com o seu tempo de utilização de uma forma conhecida como a “curva da banheira”, representada na figura 2.4.

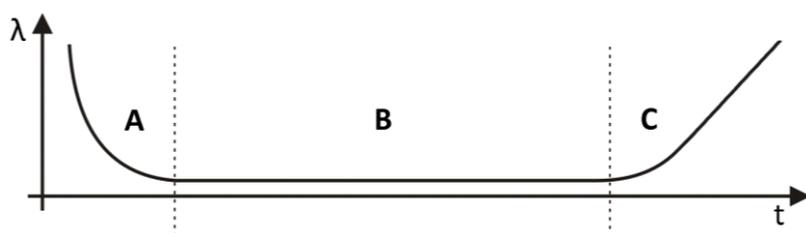


Figura 2.4 - Curva da banheira (adaptado de Szilágyi, 2009)

Na primeira fase de funcionamento (A), período denominado como mortalidade infantil, verifica-se um elevado número de avarias, resultantes do arranque (defeitos de fabrico, problemas relacionados com o transporte, etc.). É também nesta fase que se faz a rodagem dos equipamentos e pré-seleção dos componentes. Tem-se, posteriormente, a diminuição da taxa de avarias com o tempo.

Num segundo período (B), também designado por período de vida útil, a taxa de avarias é constante, ocorrendo avarias com carácter aleatório que não se podem justificar com uma causa específica, resultando de fatores de esforço ou resistência que ultrapassam os limites admissíveis, ou ainda fatores externos (temperatura, humidade, poeiras, etc.). Trata-se do período mais significativo visto que a sua duração é, normalmente, muito superior aos outros dois.

No último período (C), tem-se um crescimento contínuo da taxa de avarias, justificado pelo progressivo desgaste e envelhecimento dos materiais. O equipamento já não cumpre integralmente a finalidade para a qual foi desenvolvido.

2.4.2 MTBF

O MTBF (*Mean Time Between Failures*) exprime o tempo que decorre, em média, entre duas avarias consecutivas. Representa, portanto, o inverso da taxa de avarias:

$$MTBF = \frac{\text{Tempo total de funcionamento}}{N^{\circ} \text{ de avarias}} \quad (2.2)$$

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

Alguns autores consideram que o tempo entre avarias é o tempo que decorre entre o início de uma reparação e o início da próxima. Trata-se de uma interpretação literal do termo, contudo, o conceito mais generalizado, é o do tempo decorrente entre o fim da última reparação e o início da próxima. Esta diferença de interpretação poderá ser importante, se os tempos de reparação, contrariamente ao que será normal, não forem muito inferiores aos tempos de funcionamento (Cabral, 2004).

Este indicador permite medir o conceito de fiabilidade na medida em que esta traduz a “aptidão de um bem para cumprir uma função requerida sob determinadas condições, durante um dado intervalo de tempo” (NP EN 13306, 2007).

Existe também um indicador semelhante ao MTBF, que reflete o tempo médio para avaria (*Mean Time To Failure*), utilizado em equipamentos não reparáveis como lâmpadas, baterias, etc.

2.4.3 MTTR

O MTTR (*Mean Time to Repair*) indica o tempo médio necessário para reparar uma avaria, ou também, a média dos tempos de intervenção corretiva:

$$MTTR = \frac{\text{Tempo total de manutenção corretiva}}{N^{\circ} \text{ de avarias}} \quad (2.4)$$

O tempo dedicado à reparação inclui o tempo necessário para diagnosticar a avaria, reunir os recursos necessários, efetuar a reparação, testar o equipamento e entregá-lo em boas condições de funcionamento.

Trata-se do indicador que possibilita a medição da manutibilidade do equipamento, isto é, da “sua aptidão para ser mantido ou restaurado, de tal modo que possa cumprir uma função requerida” (NP EN 13306, 2007).

2.4.4 Disponibilidade

A disponibilidade pode ser definida como o tempo durante o qual o equipamento se encontra disponível para produzir. Segundo a NP EN 13306 (2007), trata-se da “aptidão de um bem para cumprir uma função requerida sob determinadas condições, num dado instante ou durante um dado intervalo de tempo, assumindo que é assegurado o fornecimento dos necessários recursos externos”.

Este indicador relaciona o MTBF, MTTR e ainda, no caso da disponibilidade operacional, o tempo médio de espera:

$$D = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR + MWT} \quad (2.5)$$

O MWT (*Mean Waiting Time*) significa o tempo médio de espera antes do início da reparação e a sua soma com o MTTR traduz-se no tempo médio de indisponibilidade (*Mean Down Time* - MDT).

A fórmula mostra, portanto, que para aumentar a disponibilidade de um equipamento, poderemos atuar aumentando o tempo de bom funcionamento (MTBF) e diminuindo o tempo médio de indisponibilidade (MDT), isto é, os tempos de reparação e espera.

Existe ainda o conceito de disponibilidade intrínseca que difere da anterior (disponibilidade operacional), na medida em que não considera o indicador MWT.

2.4.5 OEE

O OEE (*Overall Equipment Effectiveness*), definido como o indicador da TPM, foi desenvolvido não só como forma de avaliar a capacidade de produção dos equipamentos, mas também como métrica de melhoria contínua dos processos produtivos (Nakajima, 1988). Permite a identificação de áreas onde devem ser desenvolvidas ações de melhoria, para além de servir como elemento de *benchmark*, quantificando as melhorias desenvolvidas nos equipamentos e linhas de produção ao longo do tempo (Jonsson & Lesshammar, 1999).

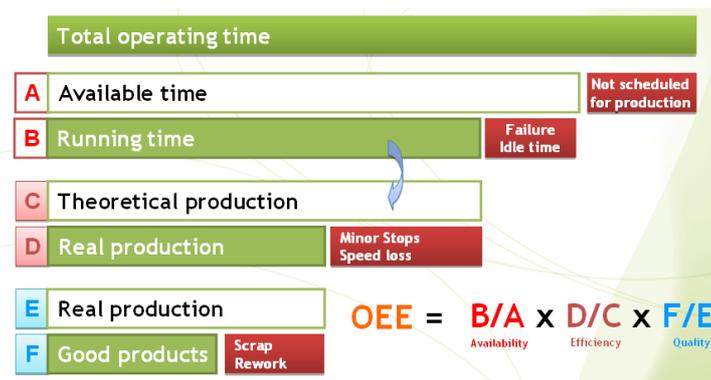


Figura 2.5 – Fatores que compõem o OEE (Eddin, 2014)

Tal como demonstrado na figura 2.5, o valor do OEE resulta da multiplicação de três fatores, a disponibilidade do equipamento (2.6), a eficiência da produção (2.7) e a qualidade do produto (2.8), calculados da seguinte forma:

$$D = \frac{\text{Tempo de produção efetivo}}{\text{Tempo de produção planeado}} \quad (2.6)$$

A disponibilidade é afetada pelas paragens programadas e não programadas. As primeiras (paragens programadas) estão relacionadas com os *setups* e manutenção, ao passo que as segundas (paragens não programadas) consistem nas falhas dos equipamentos, falta de mão-de-obra e ausência de matéria-prima.

$$E = \frac{\text{Tempo de ciclo} \times N^{\circ} \text{ total de peças produzidas}}{\text{Tempo de produção efetivo}} \quad (2.7)$$

A eficiência, ou desempenho de produção, tem em conta problemas de mão-de-obra, de processo, de qualidade e de logística.

$$Q = \frac{N^{\circ} \text{ de peças conformes produzidas}}{N^{\circ} \text{ total de peças produzidas}} \quad (2.8)$$

A qualidade é medida pelo número de peças conformes em função das peças produzidas, sendo por isso afetada pelas peças defeituosas, sucata e peças que necessitem de reparação.

Simplificando as expressões anteriores, retira-se que o resultado do OEE pode ser calculado através da expressão 2.9.

$$OEE = \frac{\text{Tempo de ciclo} \times N^{\circ} \text{ de peças conformes produzidas}}{\text{Tempo de produção planeado}} \quad (2.9)$$

2.4.6 Custos de manutenção

Os custos de manutenção têm de ser considerados no preço final de produção dos bens fabricados ou nos serviços fornecidos, sendo vital uma organização racional e económica da função manutenção. Contudo, é sabido que a ausência de uma política de manutenção gera custos ainda mais difíceis de suportar.

Tal como se mostra na figura 2.6, os custos gerados pela manutenção (mão-de-obra, materiais e serviços) representam apenas a ponta visível do iceberg, encontrando-se encobertos os custos resultantes da perda de produção, fraca qualidade, quebra de rendimento, melhorias, entre outros (Mirshawa & Olmedo, 1993). Estes custos não visíveis encontram-se relacionados com a indisponibilidade e deterioração dos equipamentos e são consequência de falta de manutenção adequada.



Figura 2.6 - Iceberg de custos (adaptado de Cabral, 2004)

Os custos de manutenção não possuem, geralmente, um grande rigor contabilístico, e vão para além dos custos diretos (visíveis), facilmente quantificáveis. De forma a exprimir corretamente o desempenho da manutenção, devemos somar aos custos contabilísticos diretos, os custos indiretos, muitas vezes difíceis de determinar (Cabral, 2004).

Na tabela 2.1 encontram-se sintetizados os principais custos de manutenção, bem como a sua composição.

Tabela 2.1 - Custos diretos e indiretos de manutenção (adaptado de Cabral, 2004)

Custos diretos (Cd)	<ul style="list-style-type: none">•Mão-de-obra: esforço em HH (horas.homem) × respetivo custo padrão.•Materiais: custo das peças retiradas de armazém ou compradas e aplicadas.•Serviços: custo dos serviços aplicados por terceiros; incluirá, quando for o caso, o custo dos contratos de manutenção.
Custos indiretos (Ci)	<ul style="list-style-type: none">•Custos de desclassificação: custos de perdas dos produtos não fabricados, das matérias-primas em curso de transformação, perda de produtos desclassificados.•Custos de inatividade: mão-de-obra (produção) parada.•Custos de inoperacionalidade: despesas da amortização dos equipamentos parados.•Despesas induzidas: prazos não conseguidos (penalidades, perda de cliente, fraca imagem, etc.) e perda de qualidade na fabricação.

A relação entre o custo de manutenção e o custo de indisponibilidade foi estudada através de um modelo matemático apresentado por Chiu & Huang (1996), destacando uma melhor relação custo-benefício quando a manutenção é feita preventivamente, ao invés de situações de descontrolo do processo produtivo pela falta de manutenção.

Um dos compromissos do departamento de manutenção é determinar um ponto ótimo de manutenção que permita minimizar os seus custos. Este ponto é dado pelo equilíbrio entre o custo de manutenção preventiva e os custos resultantes das avarias, conforme se pode verificar na figura 2.7.

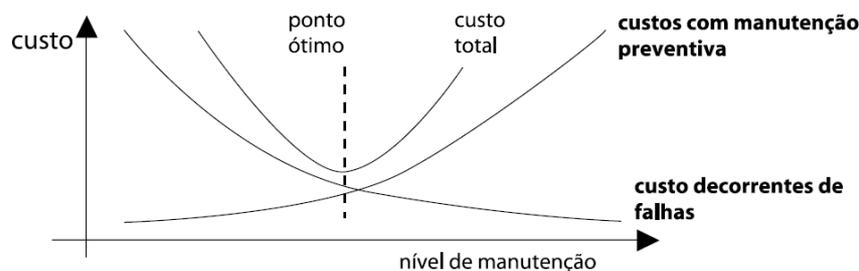


Figura 2.7 - Ponto ótimo de custos (Mirshawa & Olmedo, 1993)

A insuficiência ou ausência de manutenção preventiva terá como consequência um aumento das falhas dos equipamentos e, por conseguinte, dos custos decorrentes dessas mesmas falhas. Porém, segundo Mirshawa & Olmedo (1993), o investimento em manutenção preventiva para lá do ponto ótimo irá resultar também numa interferência negativa no custo total de manutenção. Assim, deverá planear-se uma solução global de manutenção, incluindo tanto a manutenção preventiva (programada) como a manutenção corretiva (não programada).

2.5 Metodologia TPM

A metodologia *Total Productive Maintenance* (TPM), em português, Manutenção Produtiva Total, teve a sua origem na fase de concepção do Toyota Production System (TPS), sendo implementada pela primeira vez na empresa Nippondenso nos anos 1970. Trata-se de um conceito moderno de manutenção registado pelo Japan Institute of Plant Maintenance (JIPM), e o seu traço mais distintivo consiste em envolver ativamente a produção nas tarefas de manutenção, explorando o facto de ser o operador quem melhor conhece a máquina.

2.5.1 Finalidade

A TPM visa criar uma cultura corporativa que persiga constantemente a melhoria da eficiência do sistema produtivo, construir um sistema que permita prevenir qualquer tipo de perda de modo a atingir zero avarias, zero defeitos e zero acidentes, envolver todas as funções da empresa que planeiam, definem ou usam o equipamento e instalações, e todos os colaboradores, desde o *shop-floor* até à gestão de topo, bem como promover a melhoria do desempenho operacional através das atividades de pequenos grupos (conhecidos como AMT ou equipas autónomas de manutenção).

A metodologia TPM tem como principal objetivo reduzir os principais tipos de perdas/desperdícios, relacionados com os equipamentos, que podem ocorrer na planta fabril. De acordo com o JIPM, existem seis grandes perdas dos equipamentos:

- Perda por avaria/falha – perdas de tempo devido ao equipamento não estar disponível para produzir nas condições exigidas, deixando de funcionar total ou parcialmente. Trata-se do fator que mais prejudica a eficiência.
- Perda por mudança de produto e afinações (*setup*) – perda que é provocada por paragem associada à mudança de produto. O tempo de mudança de produto significa o tempo necessário desde a paragem do produto que estava a ser produzido, até ao final

da preparação do produto que irá ser produzido, sendo o ajustamento do equipamento a fase mais demorada.

- Perdas por pequenas paragens – As pequenas paragens diferem da avaria/falha normal, na medida em que se devem a problemas momentâneos, podendo acontecer quando o equipamento para ou opera em vazio. Neste tipo de perdas podem-se incluir também a espera para inspeção e controlo.
- Perda por redução de velocidade no processo – refere-se à diferença entre a velocidade nominal e real do equipamento. Pode acontecer, por exemplo, no caso de uma operação realizada com a velocidade reduzida devido à ocorrência de problemas na qualidade do produto ou na mecânica do equipamento, quando operado à velocidade nominal.
- Perda por produto defeituoso e *rework* (problemas de qualidade) – perda originada pelos produtos com defeito e pelas intervenções de retrabalho com vista à sua recuperação.
- Perda no arranque das máquinas – a perda no início da operação (*start up*) é a perda decorrente entre o momento do início da produção e a estabilização do processo.

Segundo a mesma organização (JIPM), as principais causas para tais perdas podem dever-se a mau estado/ más condições de funcionamento do equipamento, erros humanos, negligência, falta de motivação, de conhecimento e de compreensão de como alcançar as condições ótimas de funcionamento do equipamento.

2.5.2 Oito atividades de apoio

A metodologia TPM tem por base o programa 5S e está suportada por oito atividades fundamentais, também designadas como pilares, necessárias para a sua implementação, tal como apresentado na figura 2.8



Figura 2.8 - Oito atividades de apoio à metodologia TPM (LeanProduction, 2013)

A ferramenta de melhoria contínua cinco S (5S) deriva de um conjunto de práticas representadas por cinco palavras de origem japonesa, conforme apresentado na tabela 2.2, que visam reduzir os desperdícios e organizar os postos de trabalho.

Tabela 2.2 - 5S (adaptado de J. P. Pinto, 2013)

Seiri - Triagem
<ul style="list-style-type: none">•Fazer a distinção entre o útil e o inútil•Eliminar as coisas desnecessárias no posto de trabalho
Seiton - Arrumação
<ul style="list-style-type: none">•Organizar o local de trabalho•Definir um local para cada coisa e garantir que cada coisa está no seu lugar
Seiso - Limpeza
<ul style="list-style-type: none">•Proceder à limpeza dos equipamentos e da área de trabalho•Dividir o posto de trabalho e atribuir zonas de limpeza a cada elemento
Seiketsu - Normalização
<ul style="list-style-type: none">•Definir uma norma geral de arrumação e limpeza•Criar rotinas de melhoria contínua
Shitsuke - Disciplina
<ul style="list-style-type: none">•Desenvolver a capacidade de seguir regras e criar hábito de envolvimento•Verificar se as ações e inspeções estão a ser realizadas corretamente

- **Manutenção Autónoma**

A manutenção autónoma tem por objetivo a melhoria da eficiência dos equipamentos por parte dos operadores, desenvolvendo a sua capacidade para a execução de inspeções e reparações (Borris, 2006). O operador é visto como o proprietário do seu local de trabalho, assumindo responsabilidades pelos seus equipamentos.

- **Manutenção Planeada**

Este pilar tem como propósito a consciencialização das perdas decorrentes das falhas dos equipamentos, minimizando-as com o menor custo possível, de forma a satisfazer as necessidades dos clientes. Com a manutenção planeada, as pessoas começam a assumir uma abordagem proactiva ao invés do método reativo, agendando manutenções necessárias e antecipando-se aos problemas (Suzuki, 1994).

- **Manutenção para a Qualidade**

Procura-se alcançar um sistema de produção incapaz de produzir produtos com defeito. Nesta fase, desafia-se a criatividade das pessoas no sentido de encontrarem mecanismos eficazes na prevenção e deteção de erros (*poka yoka, jidoka*, etc.). Os problemas

que condicionam a qualidade do produto final são extintos, não sendo mais tolerável que os equipamentos sejam responsáveis por isso.

- Melhoria Contínua

Diz respeito a todas as atividades de melhoria em equipamentos e/ou instalações. Começa-se por identificar uma área de melhoria onde o impacto seja significativo e os custos/esforço necessários para a sua implementação sejam baixos. Pode recorrer-se a ferramentas *Lean* de fácil aplicação como o diagrama de *Ishikawa* e os cinco porquês (5W), de modo a detetar a causa das perdas/desperdícios.

- Gestão Inicial do Equipamento

A gestão inicial do equipamento tem como finalidade, o planeamento e desenvolvimento de atividades de melhoria, logo na fase de projeto de novos equipamentos ou durante a remodelação de equipamentos já existentes, de forma a obter equipamentos livres de falhas, livres de manutenção, a laborarem na melhor condição possível, e de modo a produzirem os melhores resultados com o menor investimento possível.

- Formação e Treino

A implementação da TPM é apenas possível com colaboradores devidamente habilitados e dotados das competências e conhecimentos necessários para trabalhar com os equipamentos. Os operadores de produção podem não perceber o princípio de funcionamento das suas máquinas, tal como os técnicos de manutenção poderão não estar familiarizados com técnicas de manutenção condicionada. Só com colaboradores devidamente motivados, que saibam o que fazer (como e porquê), se consegue superar os problemas, de forma a eliminar as ineficiências dos equipamentos.

- Saúde, Segurança e Ambiente

Proporcionar um sistema que possibilite a obtenção de locais de trabalho limpos, isentos de poluição, seguros e ergonomicamente corretos, nos quais os operadores se sintam bem, de forma a funcionar como primeiro fator motivador dos mesmos (Venkatesh, 2007). Deve-se garantir que os procedimentos operacionais que são aplicados para a melhoria do desempenho da empresa, também são aplicados na saúde, segurança e ambiente.

- TPM na Administração

É necessário que todas as atividades organizacionais sejam eficientes. Este pilar usa o conhecimento e as ferramentas aplicados nos processos de manutenção e produção nos

processos administrativos, eliminando as perdas/desperdícios ao nível do *back office*, nomeadamente, perdas de processamento, perdas (custo) em áreas como as compras, contabilidade e marketing, queixas e reclamações de clientes por falhas nas entregas, etc.

2.5.3 Manutenção Autónoma

A Manutenção Autónoma é considerada um dos pilares de maior relevo da TPM, visto que se trata do ponto de partida para a implementação e desenvolvimento desta metodologia. Ao contrário do que comumente se pensa, a MA não consiste meramente em cuidar da aparência dos equipamentos, limpando-os e lubrificando-os periodicamente. Este tipo de manutenção está dirigido para o desenvolvimento das competências dos operadores, de modo que os mesmos tenham domínio sobre os seus equipamentos e local de trabalho.

Este pilar tem como finalidade a operação ininterrupta de equipamentos e instalações, desenvolver flexibilidade nos operadores para produzir e, ao mesmo tempo, manterem os seus equipamentos em boas condições, eliminar defeitos na fonte através da participação ativa das pessoas e aplicar gradualmente as atividades *jishu hozen* (J. P. Pinto, 2013).

Uma das grandes vantagens da MA está relacionada com o apoio que esta poderá dar a outros tipos de manutenção (preventiva e corretiva), sendo muitas vezes sugerida para reduzir a carga de trabalho dos técnicos de manutenção (McKone, Schroeder, Cua, & Decis Sci, 1998). O trabalho destes é assim reduzido com o auxílio dos operadores, permitindo-lhes ter mais tempo para outras tarefas de manutenção.

Embora pareça um conceito simples e de fácil implementação, a transferência de responsabilidades do departamento de manutenção para a produção torna-se muitas vezes difícil e demorada, sendo que a participação neste processo deve ser inicialmente voluntária, desenvolvendo-se nas pessoas à medida que vão ganhando propriedade dos seus locais de trabalho.

Suzuki (1994) refere que para desenvolver e implementar um programa de MA com sucesso, é necessário rigor e continuidade. Um outro fator chave é a conjugação entre as melhorias instaladas nos equipamentos, a formação e o treino dos operadores. Segundo Ireland e Dale (2001), o processo de desenvolvimento da MA é, normalmente, realizado em sete etapas. Os operadores aplicam o que aprendem em cada nível de formação e treino antes de prosseguirem para o nível seguinte.

1. Limpeza inicial

Na primeira etapa, os operadores compreendem que tarefas como limpeza e remoção de camadas de sujidade e poeiras depositadas nos equipamentos são importantes na deteção de possíveis anomalias, nomeadamente, identificação de partes soltas, desgaste anormal, desalinhamentos, fontes de contaminação, riscos de incidentes, entre outros. O uso dos cinco sentidos é bastante importante nesta fase, pois trata-se de uma forma de inspeção bastante simples e eficiente, permitindo ao operador estar consciente das anomalias dos seus equipamentos.

2. Eliminação das fontes de sujidade e locais de difícil acesso

O principal objetivo nesta segunda fase é o combate à deterioração acelerada do equipamento (Yoshida et al., 1990). Para isso, as pessoas envolvidas na TPM devem determinar as causas de sujidade no equipamento e aplicar os seus conhecimentos (ainda que insuficientes) na eliminação dessas causas. A deterioração acelerada pode ser causada pelo próprio equipamento, quando o desgaste e o envelhecimento do equipamento é causado pela sujidade, ou pelo comportamento humano, quando os colaboradores não efetuam a devida manutenção aos equipamentos, como limpeza e lubrificação. Nesta fase é ainda necessário melhorar a forma como os operadores alcançam as áreas de difícil acesso.

3. Elaboração de programas provisórios de manutenção

A elaboração de procedimentos e padrões de comportamento humano possibilita que os operadores possuam uma orientação clara na realização da manutenção e que todos a realizem da mesma forma, no menor tempo possível (Willmott & McCarthy, 2001). Assim, é necessário listar todos os pontos importantes na prevenção e converte-los em normas que sirvam de guia nas atividades de MA. Estes padrões devem ser melhorados continuamente de modo a elevar os níveis de qualidade e desempenho do equipamento.

4. Inspeção geral

Nesta etapa, os operadores são formados e treinados por colaboradores especializados nos equipamentos (técnicos de manutenção, processo de produção, etc.) com vista à deteção de falhas e conseqüente reparação dos mesmos, trazendo-os de volta à condição que apresentavam anteriormente (Nadarajah, Sambasivan, & Yahya, 2005). As etapas anteriores consistem em detetar anomalias, mas com o treino e formação especializada, a compreensão sobre a estrutura e os princípios de funcionamento dos equipamentos torna-se mais

aprofundada. Assim, a partir desta fase é necessário, não apenas descobrir as anomalias, mas analisá-las tecnicamente.

5. Inspeção autónoma

O objetivo desta etapa é rever os procedimentos padrão de manutenção elaborados anteriormente. Destaca-se a confirmação da divisão de tarefas entre manutenção e produção, e a realização de melhorias no sentido de facilitar o cumprimento dos procedimentos. São também elaboradas *checklists* e calendários de inspeção periódica, sendo a frequência de inspeção otimizada experimentalmente. É também na fase de desenvolvimento da inspeção autónoma que se vai melhorando a eficiência para executar o novo *standard* de MA, reduzindo as paragens não planeadas, avarias e defeitos de qualidade.

6. Manutenção Autónoma sistemática

A etapa seis consiste na organização dos diversos locais de trabalho e na sistematização total da sua manutenção englobando não só a execução dos procedimentos de manutenção anteriormente definidos mas também o controlo dos mesmos. A partir deste ponto, as pessoas encontram-se aptas para iniciar o processo de melhoria contínua. Nesta fase são importantes tarefas como a definição de normas de fluxo de materiais no local de trabalho, normas de controlo de ferramentas, definição de responsabilidades e padronização do registo de dados.

7. Gestão Autónoma/ Implementação Plena

O foco principal desta última etapa é fazer valer a capacidade desenvolvida nos operadores, de modo a implementar medidas para uma melhor gestão dos materiais, ferramentas e equipamentos. Nesta fase, o operador deve ser capaz de recolher e analisar sistematicamente os dados relativos ao equipamento e definir ações de melhoria com vista ao aumento da sua eficiência global (OEE).

2.6 Standard Work

Com o objetivo de aumentar a sua competitividade, as empresas recorrem frequentemente a uma filosofia de *Lean Production*, originária do modelo TPS - *Toyota Production System*, aplicável aos mais diversos setores industriais e de serviços.

Esta filosofia tem como base métodos de qualidade e de melhoria de processos, com ênfase nas necessidades do cliente, envolvimento dos colaboradores e melhoria contínua, para

a eliminação de todo o tipo de desperdícios ao longo da cadeia de valor, aumentando a qualidade dos produtos e reduzindo tempos e custos de produção (Yang & Yang, 2013).

O *standard work* é uma das mais importantes ferramentas *Lean*, contudo, é ainda das menos usadas. Surgiu no programa de treino e formação desenvolvido nos Estados Unidos durante a Segunda Guerra Mundial com o intuito de suprir a carência de mão-de-obra qualificada e consiste em uniformizar, normalizar ou padronizar, isto é, fazer do mesmo modo, seguindo a mesma sequência, as mesmas operações e as mesmas ferramentas.

À medida que o padrão estabelecido é melhorado, o novo padrão torna-se a linha de base para futuras melhorias, e assim sucessivamente. O processo de melhoria do trabalho padronizado é, assim, um processo nunca acabado.

De entre as principais vantagens do *standard work* podem-se destacar o melhor controlo e redução da variabilidade dos processos de produção, a diminuição da carga de trabalho e riscos de acidentes dos colaboradores, o aumento da produtividade e a redução de desperdícios (Mariz & Picchi, 2013).

O trabalho normalizado é aplicado, entre outras áreas, na manutenção. A normalização na manutenção significa que, qualquer que seja o técnico ou operador, neste ou naquele tipo de atividade, a realização da mesma é sempre feita do mesmo modo, dando segurança a quem as faz e garantias a quem as gere ou se serve delas (J. P. Pinto, 2013).

A normalização das atividades permite um melhor planeamento de recursos, deteção de desvios e incentivo da melhoria contínua do desempenho da manutenção. O controlo dos desvios permite eliminar o imprevisto e a realização incorreta das operações, reduzindo a probabilidade dos trabalhos de manutenção serem mal sucedidos. Um trabalho uniformizado é também facilmente ensinado, melhorado, documentado, auditado e transferido.

3. CASO DE ESTUDO

Neste capítulo será feita a apresentação e descrição da empresa em estudo, Grupo IKEA, analisada a situação atual da Pigment Furniture Factory e identificadas as suas necessidades sob o ponto de vista da função manutenção.

3.1 Grupo IKEA

Fundada no ano de 1943 pelo sueco Ingvar Kamprad em Elmtaryd, Agunnaryd, a IKEA iniciou a sua atividade na comercialização de produtos de baixo custo: relógios, joias, carteiras, entre outros. Mais tarde, em 1947, alargou o seu ramo de atuação ao setor do mobiliário doméstico, onde se assume atualmente como líder mundial.

De modo a concretizar a sua visão, “Criar um melhor dia a dia para a maioria das pessoas”, a empresa definiu e possui como missão “Oferecer uma gama ampla de produtos para o lar, com design, funcionalidade e a preços tão baixos de forma a que a maioria das pessoas consiga comprá-los”. Pessoas, baixo custo, simplicidade e empreendedorismo constituem os seus quatro valores fundamentais.

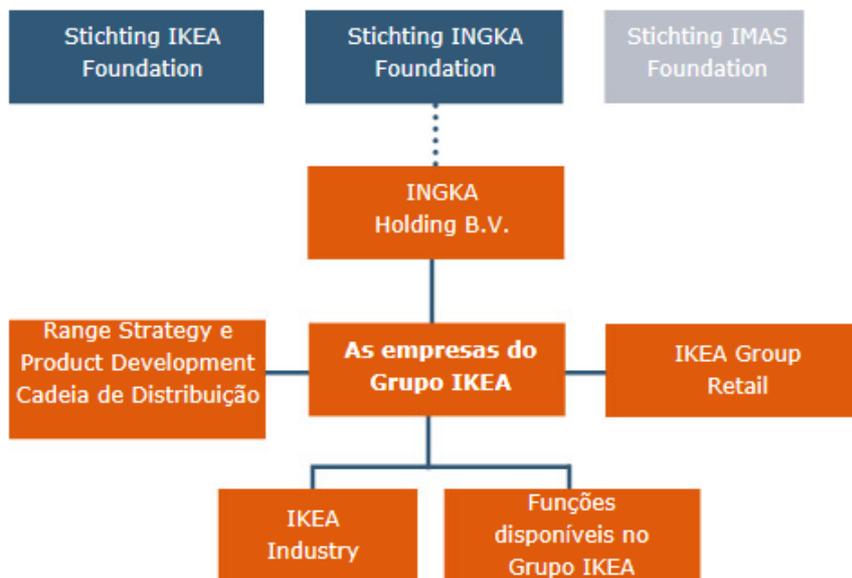


Figura 3.1 - Estrutura do Grupo IKEA (IKEA, 2014)

Na figura 3.1 encontra-se representada a estrutura das empresas do Grupo IKEA. A Stichting INGKA Foundation, com sede na Holanda, é proprietária da INGKA Holding B.V. e a sua finalidade é deter quota e reinvestir no Grupo IKEA e financiar projetos solidários através da Stichting IKEA Foundation. Esta última trata-se de uma fundação que financia

programas com vista a melhorar os direitos das crianças nos países em vias de desenvolvimento. A Stichting IMAS Foundation, por sua vez, possui a função de gestão de ativos financeiros, em nome da Stichting INGKA Foundation.

A INGKA Holding B.V. trata-se da empresa mãe do Grupo IKEA e tem como objectivo apoiar e gerir o grupo.

O Grupo IKEA gere o franchising dos métodos e sistema de retalho a partir da Inter IKEA Systems B.V., na Holanda. A Inter IKEA Systems B.V. é a proprietária do Conceito IKEA e de todas as lojas distribuídas pelo globo. A IKEA of Sweden, parte do Grupo IKEA, possui a missão, atribuída pela Inter IKEA Systems, de desenvolver e definir a gama de artigos da IKEA para todas as lojas.

A IKEA Industry, que resultou da fusão de três empresas (Swedwood, Swedspan IKEA Industry Investment & Development), trata-se do ramo industrial do grupo IKEA, sendo este o seu único cliente. Produz móveis e placas de aglomerado, incluindo também o desenvolvimento das capacidades de produção e novas estratégias de negócio, com vista a apoiar o crescimento da IKEA. Possui cerca de 19.000 colaboradores em 12 países, entre eles Portugal.

3.2 IKEA Industry Portugal Lda.

A IKEA Industry Portugal Lda., localizada em Paços de Ferreira, é composta por três unidades fabris que se distinguem pelos seus produtos e processos de produção - a *Foil* e a *Lacquering & Print*, ambas pertencentes à *Board on Frame* (BOF), e a *Pigment Furniture Factory* (PFF), representadas na figura 3.2. As duas primeiras produzem essencialmente mobiliário leve de arrumação, como estantes e mesas, ao passo que a PFF, fábrica onde foi realizado o trabalho, encontra-se vocacionada para a produção de mobiliário de quarto e cozinha.



Figura 3.2 - Unidades fabris da IKEA Industry Portugal Lda

A PFF produz atualmente três grandes famílias de produtos – as *Kitchen Fronts* (Frentes de cozinha), onde se incluem os produtos *Veddinge, Hittarp, Forbattr, Bodbyn, Utrusta, Perfekt, Applad, Stat e Lidingo*, as cómodas *Hemnes* e as frentes de guarda-roupa *Birkland*, representados no Anexo I.

Conforme indicado no *layout* do sistema produtivo do Anexo II, esta fábrica encontra-se dividida em sete secções/setores e em cinco diferentes áreas de produção (*Cutting, Profilling, Edge Band & Drill, Lacquering e Assembly & Packing*), contando com 35 linhas em funcionamento, designadas na tabela do Anexo III.

3.3 Processo produtivo da PFF

Inicialmente, na área *Cutting*, a matéria-prima (*Medium Density Fiberboards - MDF*) é retirada do armazém em paletes de placas e segue para a linha de corte, *Schelling*, onde é feito o corte dessas mesmas placas em conjuntos de peças mais pequenas, de acordo com as dimensões do produto a que se destinam. Esta linha de produção executa também a separação das peças por medidas, que posteriormente seguirão para o *stock* intermédio da linha de calibração, de modo a serem calibradas de acordo com a espessura requerida.

Posteriormente, nas áreas *Profilling* e EB&D, as peças são maquinadas, sofrendo um processo de corte, fresagem e furação. É também nesta fase que se procede à orlagem das peças.

Depois de maquinadas, já na área *Lacquering*, as peças são pintadas através de dois processos distintos – pintura spray e pintura UV. Por se tratar de uma etapa crítica do processo produtivo, aspetos técnicos como a humidade e temperatura, gramagem de tinta aplicada, tempo de cura, brilho dos elementos e pintura uniforme são minuciosamente controlados.

O processo produtivo termina na área *Assembly & Packing*, onde o produto é montado (se necessário), embalado e paletizado automaticamente. Por fim, segue-se a aplicação de filme estirável e a etiquetagem.

O controlo de qualidade ocorre sempre que o produto saia de cada linha e também, assim que este chegue à embalagem. Sempre que se verifique defeitos irreparáveis nas peças estas são imediatamente sucataadas. Caso contrário, se os defeitos forem reparáveis, as peças seguem para a linha de *Rework*.

3.4 Análise da situação existente

O departamento de manutenção da PFF (figura 3.3) é constituído por 25 colaboradores no total, e possui um regime de funcionamento de quatro turnos. Possui um responsável pela gestão do departamento, um pelo planeamento e outro pela oficina, um coordenador das áreas de corte e maquinagem, outro pelas áreas de pintura e embalagem e 18 técnicos de manutenção distribuídos pelos diferentes turnos e por todas as áreas da fábrica, sendo cada um responsável por uma ou mais linhas de produção.

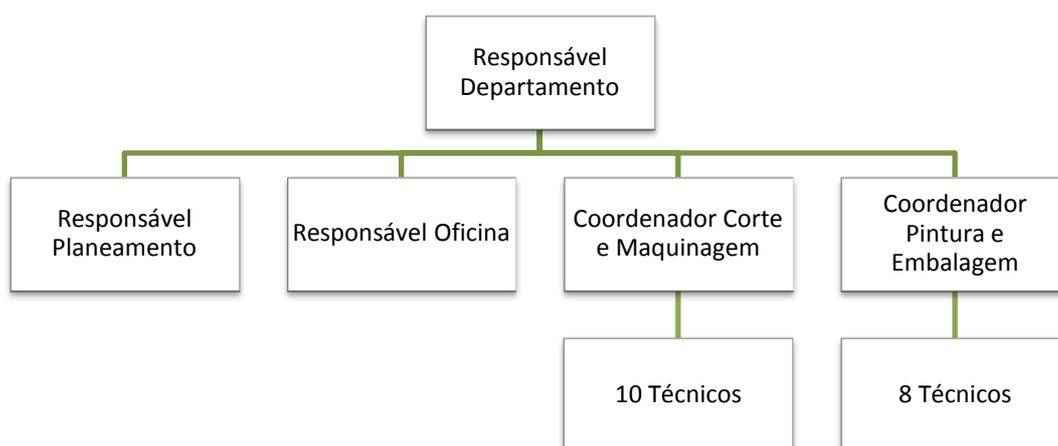


Figura 3.3 - Organograma do departamento de manutenção da PFF

A manutenção existente na PFF é essencialmente autónoma, corretiva e preventiva sistemática, sendo que a manutenção condicionada encontra-se numa fase inicial de desenvolvimento.

A manutenção autónoma encontra-se suportada em documentos do tipo *checklist*, que permitem identificar, por tarefa, a manutenção realizada pelos operadores nas suas linhas de produção. Estes documentos designam-se por EIRM, representado no Anexo V, e possuem ainda agregado um calendário de manutenção (Anexo VI) por forma a indicar o turno que realiza a manutenção, garantindo assim a rotatividade entre turnos.

O programa de manutenção preventiva sistemática foi definido com base nas recomendações dos manuais técnicos, na informação/sugestões do fabricante, e no histórico dos equipamentos e tem por base procedimentos de trabalho designados por MIT (instrução de trabalho de manutenção), exposto no Anexo IV.

As ordens de trabalho preventivas e corretivas são o “motor” das atividades de manutenção e são geradas no *software* de gestão da manutenção utilizado na empresa – Aretics Tekla. É nele que se realiza o planeamento e programação do trabalho, o relatório das manutenções efetuadas e a gestão do registo histórico.

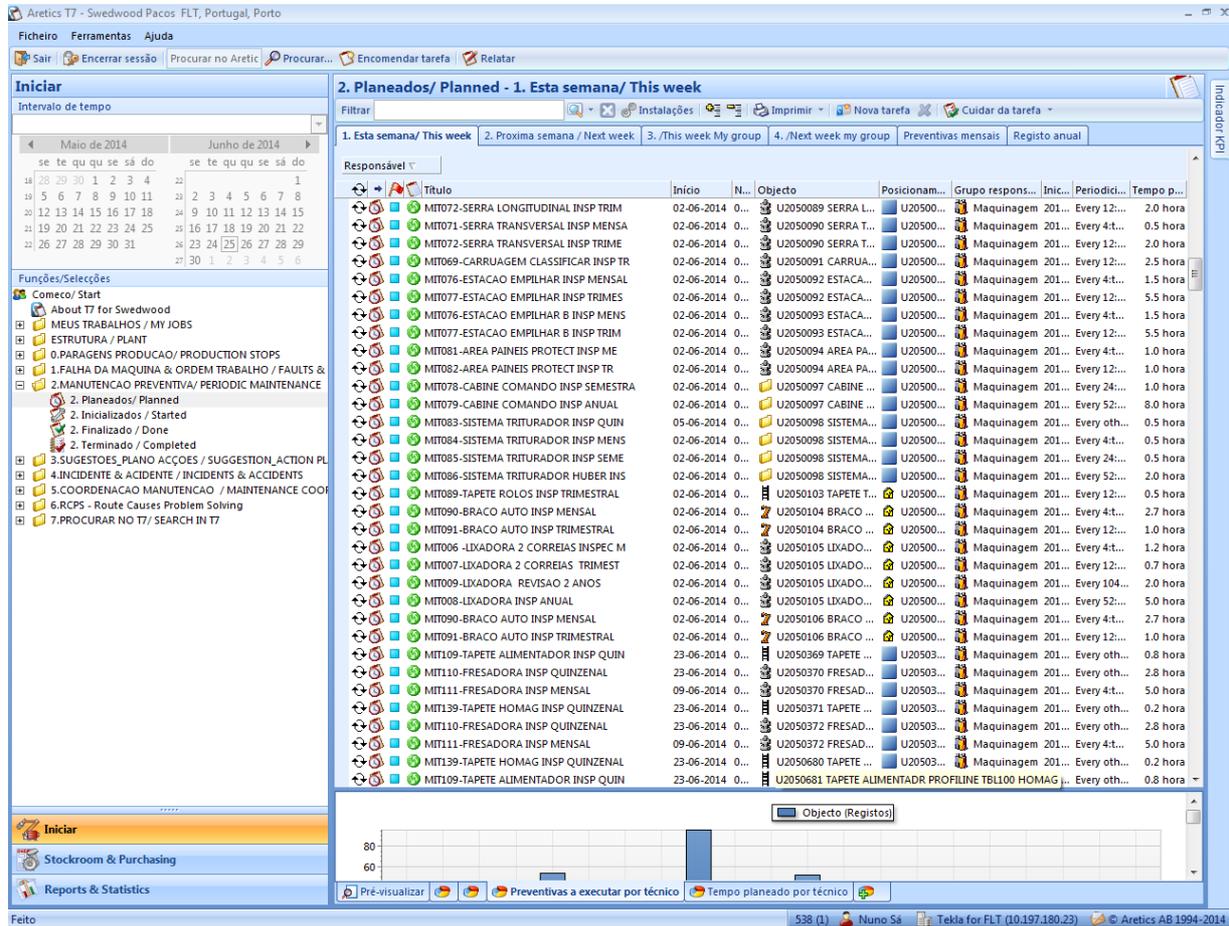


Figura 3.4 - *Software* de manutenção Aretics Tekla

Tal como demonstra a figura 3.4, o *software* Aretics Tekla encontra-se dividido em várias secções, destacando-se:

- Estrutura/ Plant: fornece informação relativa às linhas de produção e respetivos equipamentos, codificados e organizados.
- Paragens de produção: onde se encontram as ordens de trabalho corretivas registadas pelos operadores de produção ou pelos técnicos de manutenção. São fornecidas informações como o equipamento que necessita de intervenção, o responsável pela intervenção e ainda a data de paragem.
- Manutenção preventiva: diz respeito às ordens de trabalho preventivas, identificando-se o objeto de manutenção, o técnico a intervir, a data de intervenção e a duração prevista para a mesma.

- Sugestões/ Plano de ações: OT de melhoria normalmente sugeridas pelos técnicos de manutenção.

Para se abrir uma OT, isto é, para se solicitar um trabalho de manutenção, é necessário identificar o objeto de manutenção (linha e equipamento de produção), a categoria da ação (tipo de manutenção a efetuar), a prioridade (normal, com paragem de produção ou sem paragem de produção) e também definir o motivo da tarefa encomendada.

No caso de existirem ordens de trabalho corretivas afetas a um determinado técnico, este é responsável pela resolução imediata da avaria. No caso de OT's preventivas, é necessário planejar em conjunto com o departamento de produção e o departamento de logística as datas para a intervenção.

Após a execução de qualquer intervenção, os técnicos devem fechar as OT no *software*. O trabalho só pode ser dado como finalizado após o relatório do mesmo. Nesta fase deve-se identificar o responsável pela realização da intervenção, relatar e classificar o trabalho efetuado (ajuste, troca de material, programação, entre outros), a data e o tempo da tarefa (desde que se tomou conhecimento da mesma até que se terminou o trabalho) e o tempo de inatividade decorrente da paragem, que pode coincidir ou não com tempo da tarefa de manutenção.

Disponibilizada toda esta informação e pressupondo a veracidade dos dados contidos neste histórico, pode-se retirar conclusões acerca do desempenho da manutenção, introduzindo melhorias de planeamento e programação que o permitam incrementar.

3.5 Principais desafios

Uma vez realizada a descrição e análise da manutenção existente na empresa, identificou-se alguns pontos susceptíveis de serem melhorados e apresentou-se propostas que visam alcançar essa melhoria. Estas propostas tiveram como base a metodologia TPM e o pensamento *Lean*, mais concretamente, a ferramenta *standard work*, e estão apresentadas nos três seguintes capítulos.

Partindo do modelo já em funcionamento, existe desde logo a necessidade de se implementar na empresa um novo programa *standard* de manutenção autónoma, de forma a possibilitar a realização das tarefas adequadas em cada equipamento.

O programa de MA terá por objetivo a melhoria da eficiência global dos equipamentos (OEE) e da sua disponibilidade para produzir e será suportado por instruções de trabalho que

permitam indicar o que será necessário fazer, como se irá fazer e ainda, o tempo disponível para fazer.

Estas instruções serão elaboradas a par de um processo de normalização recentemente implementado pelo Departamento *Lean* e seguirão algumas das normas de *standard work* atualmente propostas pela empresa. Estas normas indicam alguns procedimentos aplicados na normalização do trabalho e nelas incluem-se os modelos *Standard Operation Sheet (SOS)* e o *Work Element Sheet (WES)*.

Será também necessário avaliar a real situação da empresa sob o ponto vista de manutenção, detetar os pontos fracos e atacá-los. Para que tal aconteça será necessário identificar indicadores de desempenho que permitam medir a eficácia das ações empreendidas e as diferenças entre as previsões e os resultados operacionais. Contudo, não é aconselhável o recurso a muitos indicadores de desempenho, visto que este facto pode não transmitir corretamente a situação real da empresa ao cruzar todos os parâmetros entre si. Deverão ser encontrados, portanto, indicadores adequados e confiáveis, e que expressem claramente a realidade.

Outro dos desafios existentes prende-se com a introdução e consolidação da manutenção preventiva condicionada no departamento, por forma a permitir determinar antecipadamente quando será necessário realizar serviços de manutenção nos equipamentos, aumentando a sua disponibilidade e reduzindo as paragens de produção imprevistas.

Para tal, foi desenvolvido um estudo com vista a perceber quais as técnicas de manutenção condicionada que mais vantagens poderiam trazer à empresa, bem como, o modo de aplicação de cada uma delas.

4. PROGRAMA DE MA

O novo programa de MA pretende responder a um processo de certificação recentemente levado a cabo pela empresa, baseou-se nas etapas da metodologia TPM e no princípio *Lean* de trabalho normalizado e foi desenvolvido aproveitando parte da informação já existente na empresa, seguida pelos operadores.

4.1 Procedimentos de trabalho

O programa de MA tem por base procedimentos de trabalho que englobam tarefas de rotina como verificações, lubrificações, limpeza e pequenas reparações que, por sua vez, assumem uma grande importância na prevenção de avarias nos equipamentos. Estes procedimentos permitem implementar o trabalho normalizado, garantindo que as tarefas de manutenção são realizadas de forma adequada.

O processo de elaboração destes procedimentos na empresa ocorreu a par da implementação do conceito *workstation* (estação de trabalho), local onde se reúne toda a informação relativa a um ou mais postos de trabalho, por forma a permitir ao operador a completa execução de todas as tarefas com segurança, qualidade e melhoria contínua.

A *workstation* encontra-se dividida em duas partes: rotinas operacionais e informação para aplicação do *standard work* e sistema de comunicação de e para o operador. As rotinas operacionais, onde se inclui a manutenção autónoma, dizem respeito a um conjunto de procedimentos que o operador deve executar de modo a cumprir os objetivos do seu posto de trabalho. Todos os postos de trabalho são constituídos pelas seguintes sete rotinas:

- Arranque: atividades realizadas no início do processo. Pode acontecer no caso da máquina se encontrar desligada ou na passagem de turno;
- Execução: validação da estabilidade do processo;
- Manutenção autónoma: conservação do equipamento;
- Setup: preparação e execução de uma mudança de produto ou ferramenta;
- Primeira peça ok: garantir que a peça assegura todos os requisitos de qualidade definidos pelo cliente interno e pela IKEA;
- Fecho: finalização do processo;
- Resolução de problemas: atividades a realizar sempre que a produção é interrompida.

A elaboração de procedimentos de trabalho baseou-se em documentos modelo pré-definidos pela empresa, o *Standard Operation Sheet (SOS)*, o *Work Element Sheet (WES)* e a folha de entrevistas, encontrando-se representados nos anexos VII, VIII e IX, respetivamente.

O modelo SOS consiste no conjunto de elementos de trabalho necessários para a realização de uma determinada operação, detalhando a sequência destes elementos e o tempo total aproximado da operação, ao passo que o WES diz respeito a cada um dos elementos de trabalho, permitindo especificar o que se faz, como se faz e porque se faz. Ambos os modelos podem remeter para procedimentos de segurança (*Environment Health and Safety - EHS* e *Lock Out Tag Out - LOTO*) que visam alertar o operador para os cuidados a ter aquando da realização do trabalho. A folha de entrevistas, por sua vez, permite adquirir informação relativa às tarefas de manutenção já realizadas pelos operadores, bem como, o registo dessa mesma informação.



Figura 4.1 - Circuito de elaboração de procedimentos de trabalho

Após o levantamento dessa informação e de acordo com a sequência do circuito de elaboração de procedimentos da figura 4.1, procedeu-se à elaboração do primeiro esboço do procedimento de trabalho de manutenção (etapa 3 da manutenção autónoma), com base não só na informação disponibilizada pelos operadores mas também com recurso à informação

existente nos manuais técnicos dos equipamentos, e ao know-how do departamento de manutenção.

Posteriormente, ocorre a fase de teste da instrução, onde se verifica a existência de eventuais erros de formulação e se medem os tempos de realização das tarefas. Depois da instrução ser aprovada, é dada formação aos operadores, que por sua vez, vão participar ativamente no processo, sugerindo possíveis melhorias para futuro.

Nos procedimentos de trabalho normalizado, além da forma como o operador deve realizar a tarefa, encontra-se também ilustrações que indicam o local onde deve ser realizada cada tarefa, e dois tipos de símbolos, uns que permitem identificar a categoria da tarefa e outros que vinculam os operadores ao uso de equipamentos de proteção individual, representados na tabela 4.1.

Tabela 4.1 - Lista de símbolos utilizados nos procedimentos

Símbolo	Descrição	Símbolo	Descrição
	Limpeza		Perigo
	Lubrificação		Uso obrigatório de calçado de segurança
	Ajustes		Uso obrigatório de proteção auditiva
	Mudança		Uso obrigatório de luvas
	Esvaziamento		Uso obrigatório de proteção respiratória
	Verificação de nível		Uso obrigatório de óculos de proteção
	Controlo de medição		Uso obrigatório de máscara

4.2 Software de gestão documental

Os procedimentos de trabalho foram elaborados diretamente no *software* de gestão documental RISI, seguindo algumas normas padrão, de forma a garantir que todos os documentos contivessem toda a informação considerada relevante e também, de modo a facilitar a sua consulta no sistema.

Os procedimentos SOS foram todos construídos partindo da mesma base, sendo intitulados de acordo com a sequência da tabela 4.2.

Tabela 4.2 - Norma para atribuição de título do SOS



Isto significa que foram criados diferentes SOS para cada posto de trabalho ou equipamento (no caso de existir só um equipamento em cada posto) de acordo com as diferentes frequências de realização das tarefas. Como exemplo, encontram-se identificados na figura 4.2 os SOS elaborados para os dois postos de trabalho existentes na linha 30.

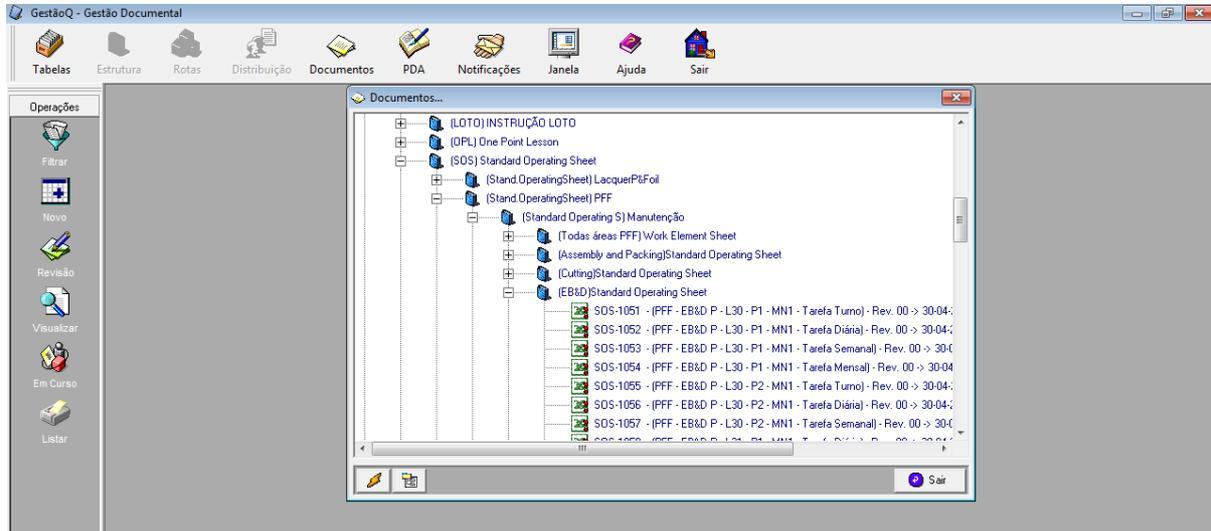


Figura 4.2 - Exemplos de procedimentos SOS

Se, porventura, o documento for válido para vários postos da mesma linha, apenas é necessário fazer referência à linha e o campo do posto não é preenchido.

Os procedimentos WES, como se encontram associados aos SOS, isto é, são criados com o objetivo de detalhar os elementos de trabalho existentes, designam-se pelo nome do elemento em causa, não constando no título qualquer outro tipo de informação. No caso de existir num determinado SOS o elemento/atividade “Substituir as fresas”, deve-se criar um procedimento WES exatamente com este título, onde se fará a descrição deste mesmo elemento/atividade.

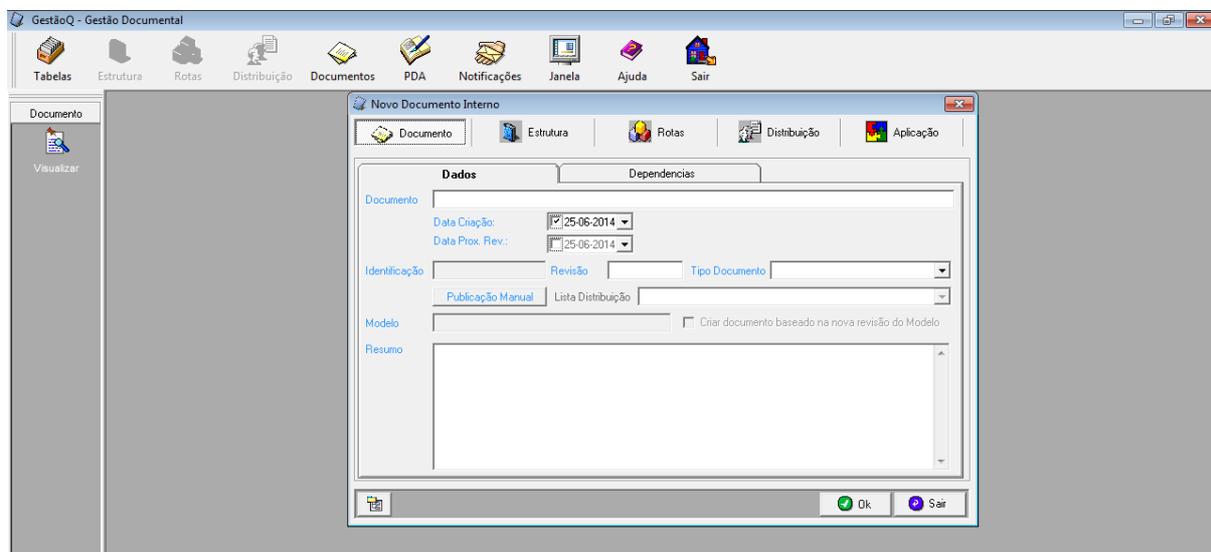


Figura 4.3 - Criação de novo procedimento

Conforme se pode verificar na figura 4.3, no processo de criação de novos documentos, para além da definição do seu título, deve-se também selecionar:

- Estrutura: o local onde se encontra o procedimento, para uma maior facilidade na sua consulta.
- Rota: conjunto de pessoas que irão fazer parte do ciclo de criação do documento, desde a elaboração, parecer da gestão documental e a aprovação final.
- Distribuição: lista de pessoas que irão ter acesso ao documento. Neste caso específico, os responsáveis dos departamentos de manutenção e produção.
- Aplicação: aspetos relativos à formatação do documento.

Depois de todos estes passos, pode-se então proceder à elaboração do procedimento propriamente dito, ou seja, do seu conteúdo. O procedimento encontra-se terminado após ter sido aprovado pelos responsáveis dos departamentos de manutenção e produção. No caso de existir a necessidade de editar um documento já aprovado, deve-se fazer uma revisão ao mesmo, seguindo-se depois os mesmos passos da criação de um novo documento.

4.3 Formação

Segundo a etapa 4 da MA, os operadores devem ser formados de modo a conseguirem realizar autonomamente a manutenção aos seus equipamentos. Com base neste desígnio foi implementado um processo de formação na empresa que visou exatamente dar conhecimento aos operadores dos novos procedimentos de trabalho e habilitá-los para a realização das tarefas de manutenção de uma forma normalizada.

O principal objetivo da formação será transformar os operados em técnicos multifuncionais, com capacidade para a operação, manutenção dos equipamentos e controlo dos processos. Como esta transformação não pode ocorrer de um momento para o outro, a melhor forma de alcançar o objetivo é transferir gradualmente as atividades de manutenção para as equipas de produção, de modo a que sejam devidamente treinadas e adquiram experiência nesta área.

No caso concreto da empresa em estudo definiu-se que as funções suporte, responsáveis pela elaboração da documentação standard, iriam proceder à formação dos trainers (grupo de pessoas com responsabilidades em áreas de produção específicas, devidamente capacitadas para transmitir essa mesma informação aos operadores). Assim, foi dada formação a trainers de diferentes áreas de produção, que por sua vez foram incumbidos de garantir a formação de todos os colaboradores da empresa.

As formações foram planificadas por posto de trabalho, de forma a englobar os conteúdos afetos a todos os equipamentos pertencentes a cada posto, sendo constituídas por uma parte teórica e uma parte prática.

A parte teórica consiste numa explicação acerca dos procedimentos de trabalho normalizado (SOS e WES), destacando as tarefas a realizar em cada equipamento do posto de trabalho, a sua frequência e os cuidados a ter a nível de segurança, saúde e ambiente (EHS). No final da mesma, foi realizado um teste (Anexo X), com questões de resposta afirmativa ou negativa (V ou F), de modo a avaliar os conhecimentos assimilados.

A parte prática, apenas realizada pelos operadores de produção, permite verificar experimentalmente se as tarefas de manutenção estão a ser realizadas conforme as instruções normalizadas, bem como a sua eficiência, destacando-se o tempo necessário na realização das mesmas. Definiram-se também níveis de especialização dos operadores conforme as classificações obtidas pelos mesmos em cada formação. O processo de formação é contínuo, na medida em que o operador terá sempre a oportunidade de melhorar o seu desempenho e, conseqüentemente, o seu nível de especialização.

4.4 Seguimento / Controlo

Depois dos operadores formados e habilitados para a realização de tarefas de manutenção autonomamente, é necessário verificar se estas estão a ser realizadas de forma *standard*, de acordo com os procedimentos dos SOS e WES. Para tal, procedeu-se à criação de um novo modelo de registo (Anexo XI), diferente do anteriormente existente. No registo anterior (EIRM) o operador registava com o seu número de colaborador as tarefas realizadas e suportava-se num calendário adicional, de modo a ter conhecimento de qual o seu momento para realizar manutenção.

Visto que existem linhas com vários equipamentos, e conseqüentemente, com um elevado número de tarefas, este modelo leva a que existam muitas vezes documentos (em papel) com dimensões demasiado elevadas, tornando-se difícil de gerir. No novo modelo este problema não se coloca, na medida em que as tarefas são registadas segundo o equipamento, seguindo os procedimentos de trabalho SOS e WES, garantindo desta forma que para um determinado equipamento se devem realizar as tarefas referentes ao mesmo. Exclui também o calendário antigo, uma vez que possui já inerente a calendarização da manutenção, de modo a que o operador tenha apenas que registar no espaço que lhe concerne.

Este registo pode ser feito a cor verde, se as tarefas foram realizadas e não foram identificadas anomalias, amarelo, se as tarefas foram realizadas mas com anomalias detetadas, surgindo a necessidade de abrir uma ordem de trabalho (*Work Order – WO*), ou a vermelho, se as tarefas não foram realizadas/concluídas.

Nomeou-se também um responsável por cada equipa/turno (chefe de linha ou Foreman), que deve garantir mensalmente o cumprimento das tarefas de MA, de acordo com os procedimentos de trabalho normalizado.

Neste novo modelo, à semelhança do anterior, o registo continua a ser feito em papel, o que traz grande limitações, nomeadamente na forma de tratar a informação recolhida, sendo que, por exemplo, para o cálculo de indicadores, toda esta informação tem que ser introduzida manualmente num determinado *software*. Propõe-se, portanto, a alteração do método de registo da MA, de papel para o software Aretics Tekla, utilizado pela empresa.

Para além das folhas de registo, foi também implementado um processo de auditorias, que visa avaliar o local de trabalho, analisando de uma forma mais profunda e consistente a eficácia das ações de manutenção empreendidas.

Estipulou-se uma calendarização para a realização de auditorias em todas as linhas de produção, sendo estas efetuadas com recurso a uma *checklist* de avaliação da MA, representada no Anexo XII. A *checklist* de auditoria é constituída por um conjunto de vinte questões relacionadas com a MA que devem ser pontuadas de um a cinco. A classificação final da auditoria resulta da soma da pontuação obtida em cada uma das questões, sendo que todos os temas com avaliação inferior a quatro devem ser resolvidos de imediato.

Tal como mostra a figura 4.4, nesta fase de controlo, depois de aplicado o trabalho normalizado, é possível detetar mais facilmente os desvios do objetivo.

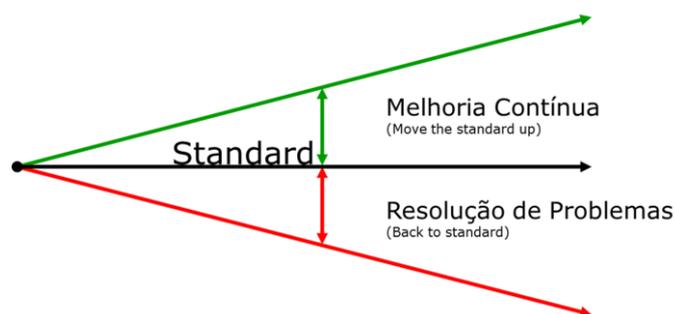


Figura 4.4 - Desvios do *standard*

Sempre que os desvios sejam no sentido de aumentar a eficiência no cumprimento do *standard*, estamos perante uma situação de melhoria. Se forem no sentido negativo, verifica-se a existência de um problema, que pode dever-se, entre outras causas, a manutenções

realizadas de forma inadequada, problemas relacionados com o equipamento, procedimentos de trabalho mal elaborados e falta de formação do operador.

No sentido de solucionar os problemas que vão surgindo, definiu-se um procedimento de atuação normalizado para toda a fábrica (figura 4.5). Consiste inicialmente em verificar se as instruções/procedimentos de trabalho SOS estão a ser seguidos e posteriormente, de acordo com as respostas obtidas, efetuar uma revisão aos procedimentos, examinar os equipamentos e materiais ou recorrer à formação dos operadores.

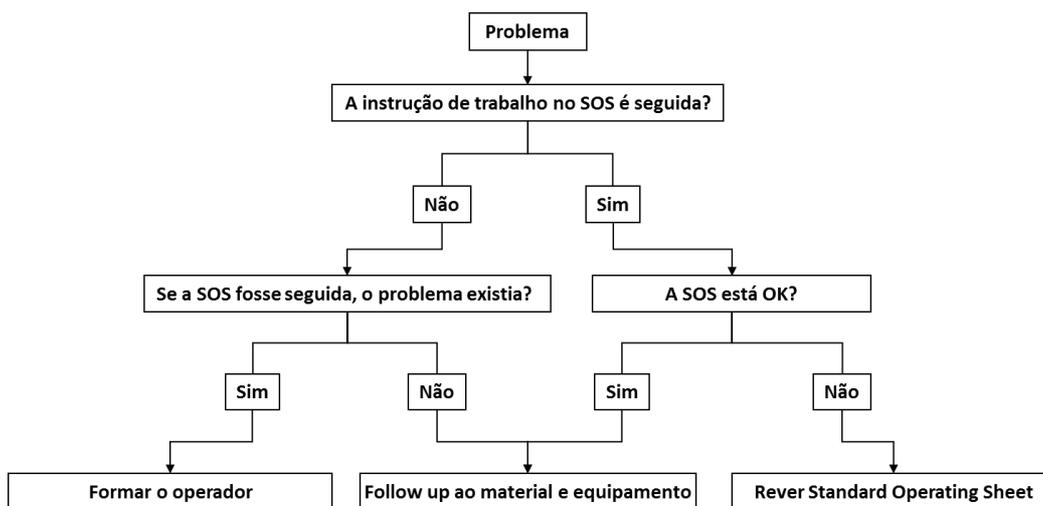


Figura 4.5 - Resolução de problemas

5. ÍNDICE DE CRITICIDADE

Uma boa política de manutenção passa por definir diferentes prioridades para diferentes linhas ou equipamentos de produção, de modo a estabelecer posteriormente diferentes estratégias de atuação.

Apesar de se possuir uma visão qualitativa do grau de importância e de criticidade dos equipamentos, verifica-se que esta poderá não ser a mais correta, na medida em que, normalmente, a opinião das pessoas não converge para o mesmo resultado, existindo assim um elevado fator de subjetividade.

Para se evitar este cenário desenvolveu-se, com a colaboração do orientador da dissertação e o envolvimento do departamento de manutenção da empresa, o conceito de índice de criticidade. Este consiste na classificação e obtenção de um índice crítico de linhas e equipamentos de produção, com base numa abordagem quantitativa, através da análise e ponderação de indicadores de manutenção que exprimem o desempenho dessas mesmas linhas e equipamentos.

A criticidade dá a indicação de quanto um equipamento ou conjunto de equipamentos pode ser importante no contexto operacional, onde a sua falha ou baixo desempenho poderá acarretar graves consequências, tais como, impactos económicos e operacionais, danos ambientais e acidentes, sendo a criticidade diretamente proporcional ao seu impacto no processo produtivo (Aven, 2009).

Segundo Hijes e Cartagena (2006), a análise de criticidade deve ser o ponto de partida na priorização do nível de manutenção necessário em cada sistema e na distribuição dos recursos de manutenção, sendo que quanto mais crítico for o equipamento, maior deve ser o foco sobre ele.

De forma a obter o índice de criticidade, procedeu-se inicialmente à seleção de indicadores que exprimissem, de uma forma relevante, o desempenho das linhas de produção, seguindo-se a integração dos mesmos num só resultado final – indicador de criticidade. Depois das linhas de produção se encontrarem classificadas de acordo com este índice, selecionaram-se as mais críticas e analisaram-se os equipamentos pertencentes às mesmas, com o intuito de perceber quais os responsáveis pela maioria dos problemas. Finalmente, com base nestes dados, sugeriram-se alterações no planeamento da manutenção para as linhas e equipamentos mais críticos.

5.1 Modelo de cálculo do índice de criticidade

Depois de analisados vários indicadores de desempenho de vários grupos, foi definido em concordância com a empresa, que os indicadores que melhor expressavam a realidade da manutenção seriam o tempo médio entre avarias (MTBF), o tempo médio de indisponibilidade (MDT) e o OEE.

Analisou-se o histórico de dados das linhas de produção (avarias, qualidade, eficiência, entre outros) e calcularam-se os valores destes indicadores durante oito meses de produção (Novembro a Junho). De seguida, foram estabelecidos limites para cada um deles, resultando intervalos de valores pontuados em 5 níveis (0-4). Ao pior dos valores registados por cada um dos indicadores durante este período atribuiu-se uma pontuação de 4 e ao melhor valor registado 0, sendo que o valor médio assume uma pontuação de 2. A pontuação de criticidade para cada indicador é calculada através de interpolação linear segundo os limites de valores definidos. O valor final do índice de criticidade (IC) de uma linha de produção resulta da soma da pontuação de cada indicador, tal como se demonstra na figura 5.1.



Figura 5.1 - Composição do índice de criticidade

Na tabela do Anexo XIII, encontram-se apresentados os valores médios registados pelas linhas de produção nos três indicadores que compõem o índice, para cada um dos oito meses, bem como os valores máximos e mínimos. Foi apenas considerada para estudo uma parte das linhas existentes na fábrica, uma vez que nem todas possuíam registos que possibilitassem a obtenção dos três indicadores.

No cálculo do índice de criticidade, o MTBF foi tido em conta com o objetivo de identificar as linhas e equipamentos de produção com maior frequência de avarias, além de que permite também avaliar a eficácia das ações de manutenção preventiva e autónoma. Os valores que limitam a atribuição da pontuação de criticidade do MTBF foram definidos de acordo com a tabela 5.1. Quanto maior for o valor de MTBF menor é a pontuação de criticidade atribuída.

Tabela 5.1 - Limites de pontuação de criticidade do MTBF

Valor MTBF (min)	≤ 166 (Valor Mín)	700	1235 (Valor Méd)	3168	≥ 5101 (Valor Máx)
Criticidade	4	3	2	1	0

O tempo médio de indisponibilidade permite avaliar a complexidade das avarias e a dificuldade na reparação dos equipamentos, traduzidas no indicador MTTR, bem como a capacidade de resposta às avarias e a operacionalidade dos técnicos de manutenção, traduzidas no MWT. Na tabela 5.2 encontram-se os valores limite para a pontuação de criticidade do MDT. Quanto maior for o valor do tempo de indisponibilidade maior é a criticidade.

Tabela 5.2 - Limites de pontuação de criticidade do MDT

Valor MDT (min)	≤ 19 (Valor Mín)	26	32 (Valor Méd)	53	≥ 74 (Valor Máx)
Criticidade	0	1	2	3	4

O OEE foi incluído no cálculo do índice de criticidade como termo de comparação de desempenho entre departamentos. Um baixo valor de OEE pode não significar, por si só, um fraco desempenho do departamento de manutenção, podendo ser afetado, exclusivamente ou não, por outros fatores, como uma elevada taxa de produtos não conformes ou baixa eficiência de produção. Deste modo, a ponderação do valor de OEE juntamente com os restantes indicadores irá resultar numa análise mais efetiva do desempenho da manutenção, bem como, entre departamentos. Encontram-se definidos na tabela 5.3, os valores que limitam a pontuação de criticidade do OEE. A criticidade deste indicador é tanto maior quanto menor for o seu valor.

Tabela 5.3 - Limites de pontuação de criticidade do OEE

Valor OEE (%)	≤ 23 (Valor Mín)	39	56 (Valor Méd)	63	≥ 71 (Valor Máx)
Criticidade	4	3	2	1	0

5.2 Classificação das linhas de produção

Com base na metodologia anteriormente proposta, classificaram-se as linhas de produção de acordo com os valores médios registados pelos indicadores de desempenho selecionados no período de tempo definido. Visto que nem todas as linhas de produção possuíam histórico de dados que permitissem calcular todos os indicadores, devido a paragem

temporária de produção ou falta de registo de dados, apenas foi possível calcular a criticidade para uma parte das linhas, encontrando-se estas mencionadas na tabela 5.4.

A classificação das linhas de produção foi feita dividindo as mesmas por área de produção, na medida em que isto possibilita uma melhor comparação de criticidade entre linhas com alguma similaridade, com equipamentos idênticos e com semelhante influência no processo produtivo.

Na tabela 5.4, as linhas de produção encontram-se ordenadas por área e ordem decrescente de criticidade segundo o indicador MTBF, na tabela 5.5 segundo o MDT e na tabela 5.6 de acordo com o OEE. Por último, na tabela 5.7 tem-se uma ordenação decrescente das linhas de produção segunda a classificação obtida no índice de criticidade.

Tabela 5.4 - Criticidade das linhas de produção segundo o MTBF

Área	Linha	Criticidade MTBF
<i>Cutting</i>	950088	3.66
	950087	2.00
<i>Profiling</i>	948001	3.38
	948003.1	3.33
	948005.3	3.03
	948005.1	2.54
	948004.1	2.53
	948003.2	2.07
	948006	1.97
	948005.4	1.86
	948002	1.81
	231134.1 (CNC)	1.53
	231134.2 (CNC)	0.65
	231133	0.57
	231134.3 (CNC)	0.00
<i>EB&D</i>	231130	4.00
	231132	3.66
	231131	2.85
<i>Lacquering</i>	948016	3.77
	948015	3.71
	948014	3.67
	231140	3.29
	231141	2.51
	948013	2.38
<i>Assembly & Packing</i>	948022	3.40
	948025	2.50

Através da tabela 5.4 verifica-se que existem, em todas as áreas de produção, linhas que apresentam valores de MTBF próximos da pontuação mais crítica, registando assim uma elevada frequência de avarias.

Tabela 5.5 - Criticidade das linhas de produção segundo o MDT

Área	Linha	Criticidade MDT
<i>Cutting</i>	950088	2.22
	950087	2.20
<i>Profiling</i>	948005.4	2.99
	948005.1	2.73
	948002	2.64
	231134.3 (CNC)	2.23
	231133	2.06
	948005.3	1.87
	231134.1 (CNC)	1.55
	948004.1	1.16
	948006	1.13
	948001	0.97
	948003.1	0.84
	231134.2 (CNC)	0.56
	948003.2	0.05
<i>EB&D</i>	231131	1.75
	231132	1.52
	231130	0.62
<i>Lacquering</i>	948013	4.00
	231140	2.29
	948015	1.14
	948016	0.87
	948014	0.39
	231141	0.25
<i>Assembly & Packing</i>	948022	0.57
	948025	0.31

Conforme se demonstra pela tabela 5.5, o MDT não assume valores tão preocupantes quanto os do indicador MTBF, à exceção da linha 948013, que se assume claramente como a linha mais crítica.

Tabela 5.6 - Criticidade das linhas de produção segundo o OEE

Área	Linha	Criticidade OEE
<i>Cutting</i>	950088	2.32
	950087	2.02
<i>Profiling</i>	231133	3.99
	948001	2,06
	948005.4	2,05
	948005.3	1,73
	948006	1,66
	948002	1,64
	948003.1	1,55

	948003.2	1,27
	948004.1	1,04
	231134.2 (CNC)	0.80
	231134.3 (CNC)	0.54
	231134.1 (CNC)	0.07
	948005.1	0,00
<i>EB&D</i>	231132	2.45
	231130	2.43
	231131	1.92
<i>Lacquering</i>	948013	2.85
	948016	2.46
	231141	2.40
	948014	2.39
	231140	2.11
	948015	1.12
<i>Assembly & Packing</i>	948022	2.27
	948025	0.50

Pela tabela 5.6, conclui-se que o indicador OEE apresenta um registo de criticidade um pouco semelhante ao do tempo médio de indisponibilidade, destacando-se a linha 231133 com o valor mais baixo neste indicador.

Tabela 5.7 - Classificação final das linhas de produção segundo o IC

Linha	MTBF	MDT	OEE	IC
948013	2.38	4.00	2.85	9.23
950088	3.66	2.22	2.32	8.20
231140	3.29	2.29	2.11	7.69
231132	3.66	1.52	2.45	7.63
948016	3.77	0.87	2.46	7.10
231130	4.00	0.62	2.43	7.05
948005.4	1.86	2.99	2.05	6.90
948005.3	3.03	1.87	1.73	6,63
231133	0.57	2.06	3.99	6,62
231131	2.85	1.75	1.92	6.52
948014	3.67	0.39	2.39	6.45
948001	3.38	0.97	2.06	6.41
948022	3.40	0.57	2.27	6.24
950087	2.00	2.20	2.02	6.22
948002	1.81	2.64	1.64	6.09
948015	3.71	1.14	1.12	5.97
948003.1	3.33	0.84	1.55	5.72
948005.1	2.54	2.73	0.00	5.27
231141	2.51	0.25	2.40	5.16
948006	1.97	1.13	1.66	4.76
948004.1	2.53	1.16	1.04	4.73
948003.2	2.07	0.05	1.27	3.39

948025	2.50	0.31	0.50	3.31
231134.1	1.53	1.55	0.07	3,15
231134.3	0.00	2.23	0.54	2.77
231134.2	0.65	0.56	0.80	2.01

No que diz respeito ao índice de criticidade final, que engloba os três indicadores, tem-se, pela tabela 5.7, que a linha que apresenta maior criticidade, no geral, é a 948013 da área Lacquering, seguida das linhas 950088 do Cutting, e da 231140, também da área Lacquering.

Na figura 5.2, encontra-se representado uma das sete ferramentas da qualidade - Diagrama de Pareto (Montgomery, 2009), que ordena o índice criticidade do maior para o mais pequeno, por forma a perceber quais as linhas responsáveis pela maior parcela dos problemas e permitir a priorização e a concentração de esforços sobre as mesmas.



Figura 5.2 - Diagrama de Pareto da criticidade das linhas de produção

Através deste diagrama, pode perceber-se, pela curva de percentagem acumulada, que as linhas identificadas anteriormente como mais críticas (948013, 950088, 231140) representam juntas cerca de 20% da totalidade dos problemas.

5.3 Análise dos equipamentos críticos

No caso das linhas de produção mais críticas, visto que apresentam maior prioridade comparativamente às de menor grau de criticidade, aumentou-se o nível de detalhe na análise e identificou-se para essas linhas, os equipamentos e, em alguns casos, os componentes responsáveis pela indisponibilidade das mesmas.

Para tal efetuou-se, com recurso ao *software* Tekla, uma análise ao histórico das linhas 948013, 950088, 231140, de modo a localizar todas as avarias existentes durante o período de oito meses e o tempo que originaram de paragem, extraindo deste modo a indisponibilidade causada pelos diferentes equipamentos que as constituem.

A linha 948013 é constituída por três postos de trabalho distintos: posto 1 designado como “Pré Preparação Sealer”, do qual fazem parte os equipamentos “Alimentador Biele, Heesemann e Unidade UV”, posto 2 “Acabamento Top”, constituído por “Heesemann, Unidade UV e Paletizador Biele” e posto 3 “Volteador” constituído pelo “Volteador Biele”. A divisão e agregação dos equipamentos da linha 948013 por posto de trabalho encontram-se representadas na figura 5.3.

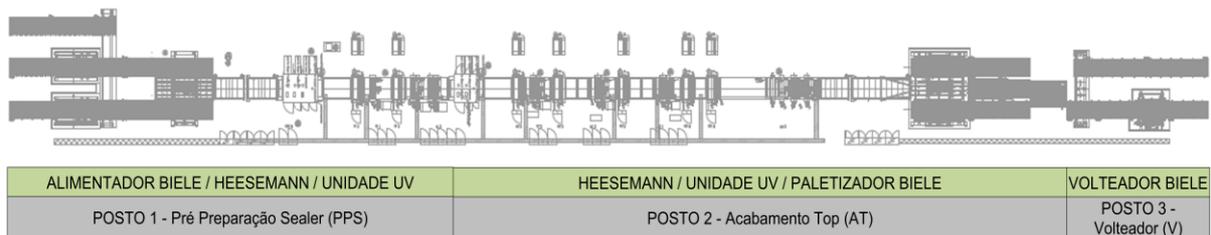


Figura 5.3 - Layout da linha 948013

Depois de analisado o histórico das avarias da linha 948013 no período definido, verificou-se que a indisponibilidade desta linha para produzir se distribui pelos seus equipamentos conforme o gráfico da figura 5.4.

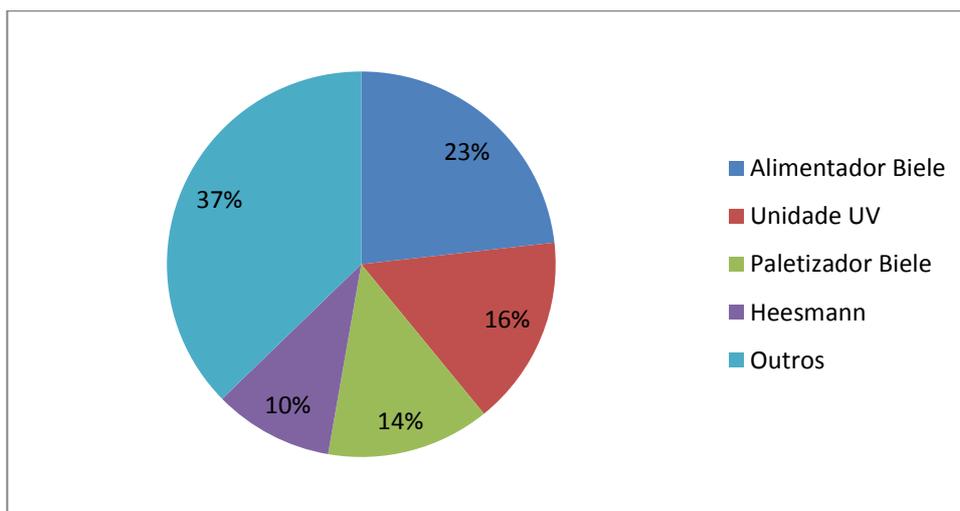


Figura 5.4 - Distribuição da indisponibilidade da linha 948013 pelos equipamentos de produção

Segundo a figura 5.4, o equipamento mais problemático na linha 948013 é o “Alimentador Biele”, com uma representação de 23 % da indisponibilidade da linha, seguido da “Unidade UV” com 16%.

Nas figuras 5.5 e 5.6 encontra-se a constituição e divisão por posto das linhas 950088 e 231140, respetivamente. A linha 950088 é constituída pelos postos de trabalho “Robot Entrada” e “Calibradora” e a linha 231140 pelos postos “Entrada Manual”, “Pintura Base” e “Pintura Top”.

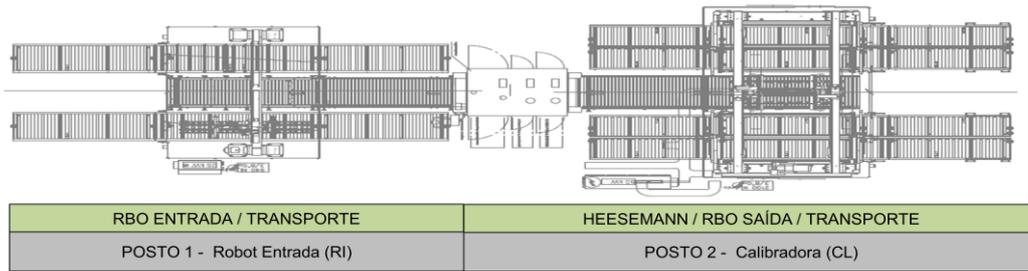


Figura 5.5 - Layout da linha 950088

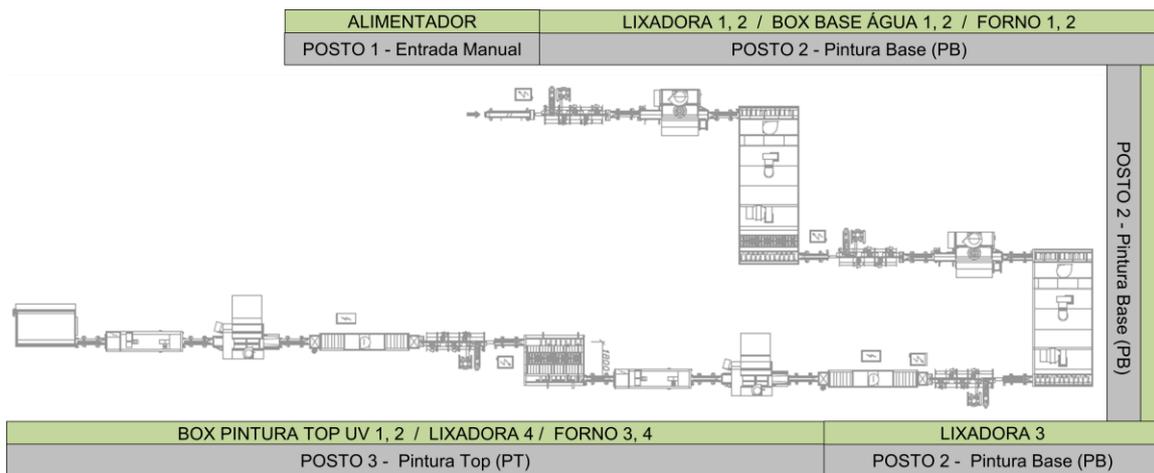


Figura 5.6 - Layout da linha 231140

A indisponibilidade das linhas 950088 e 231140 encontra-se distribuída pelos vários equipamentos que as constituem, de acordo com os gráficos das figuras 5.7 e 5.8, respetivamente. No que concerne à linha 950088, o equipamento “RBO Entrada” assume-se claramente como o mais problemático ao passo que as causas para a indisponibilidade na linha 231140 se distribuem por vários equipamentos, destacando-se a “Box Pintura Top UV 2” e “Forno 1”.

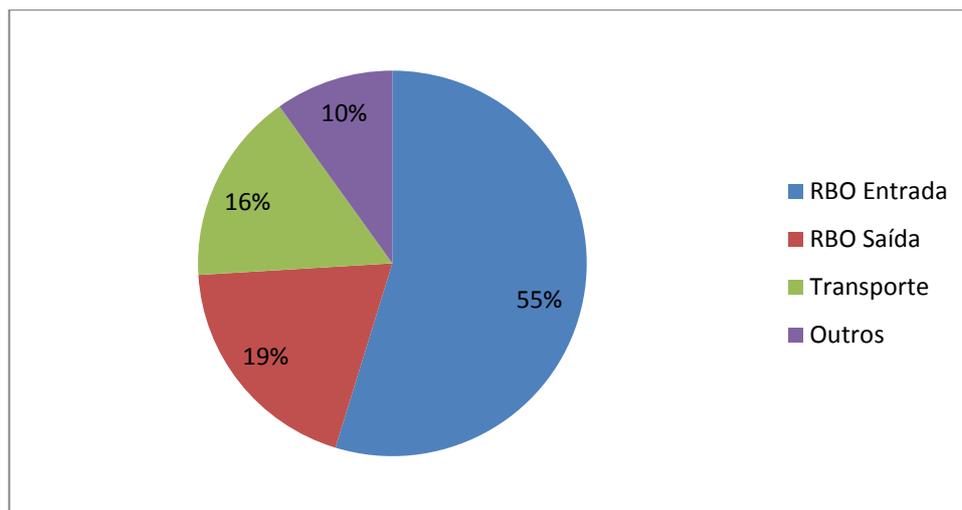


Figura 5.7 - Distribuição da indisponibilidade da linha 95088 pelos equipamentos de produção

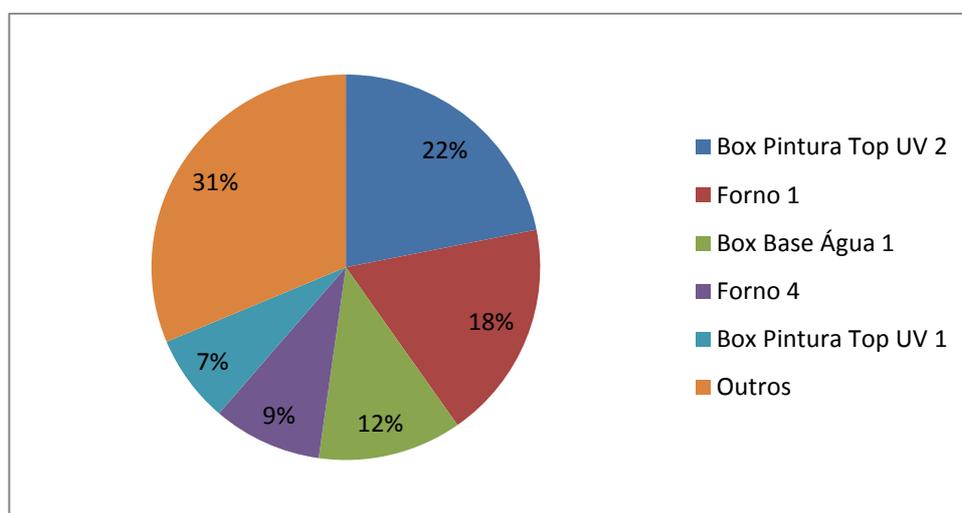


Figura 5.8 - Distribuição da indisponibilidade da linha 231140 pelos equipamentos de produção

5.4 Sugestões de melhoria

Após a caracterização do estado atual das linhas e equipamentos de produção, sugeriu-se uma redefinição das ações de manutenção a efetuar, com maior incidência nos grupos mais críticos, que passaram desde logo a requerer uma maior monitorização.

No caso das linhas e equipamentos que registam valores mais elevados de criticidade sob o ponto de vista de MTBF, aconselha-se um aumento do rácio da manutenção planeada em função da manutenção total e da taxa de execução de manutenções preventivas por parte dos técnicos responsáveis pelas mesmas.

A empresa definiu que o objetivo para estes indicadores organizacionais no ano fiscal de 2014 seria de 55% para o rácio “manutenção planeada / manutenção total” e de 65% para a

taxa “preventivas executadas / preventivas totais”. Contudo, verifica-se que, no período de tempo estudado, a maioria das linhas de produção mais críticas em MTBF apresenta valores inferiores ao objetivos estabelecidos, como se mostra na tabela 5.8.

Tabela 5.8 - Manutenção planeada e preventivas executadas para linhas críticas em MTBF (Novembro-Junho)

Linha	950088	231130	231132	948016	948015	948014	231140
Manutenção planeada / Manutenção total (%)	24,8	41,4	15,7	47,3	52,2	68,4	54
Preventivas executadas / Preventivas totais (%)	48,9	64,1	31,3	65,4	64,2	63,9	60,6

Assume-se, portanto, que o aumento deste indicador irá traduzir-se, a curto prazo, numa redução do número de avarias nos equipamentos e conseqüente diminuição da criticidade do MTBF.

No que diz respeito às linhas que registam valores mais elevados de MDT, deve-se ponderar redefinir o processo de alocação de recursos humanos e técnicos às mesmas. Esta redefinição poderá passar por um aumento ou transferência de recursos, de modo a obter uma resposta mais eficiente às avarias. Sugere-se o aumento das horas de mão-de-obra disponíveis para manutenção nestas linhas.

Nas linhas de produção prioritárias em termos de OEE, é necessário verificar se esse baixo valor registado está relacionado com o desempenho da manutenção. Em caso afirmativo deverá identificar-se em qual dos três fatores do OEE se verifica esta interferência (disponibilidade, eficiência, qualidade) e implementar medidas de melhoria. No caso da existência de um baixo valor de disponibilidade, poderá melhorar-se os indicadores MTBF e tempo médio de indisponibilidade, tal como foi referido anteriormente. Se o problema for uma baixa eficiência, podem ser tomadas medidas como a diminuição do tempo gasto nas intervenções de manutenção. Por sua vez, se a manutenção for responsável por problemas de qualidade deve-se rever os procedimentos de manutenção existentes (preventiva e autónoma) e equacionar ações de melhoria nos equipamentos.

6. MANUTENÇÃO PREVENTIVA CONDICIONADA

Consciente dos benefícios que lhe poderiam advir, a PFF iniciou recentemente um processo de manutenção preventiva condicionada, recorrendo a três tipos de técnicas de controlo da condição dos equipamentos: análise de vibrações, termografia, e ultrassonografia.

Para tal, a fábrica PFF procedeu a um levantamento das empresas especializadas neste tipo de técnicas, comparando as soluções e serviços prestados, bem como, os preços praticados pelas mesmas, de modo a selecionar aquelas que melhor se adequavam às suas necessidades.

6.1 Análise de vibrações

6.1.1 Equipamentos inspecionados

No âmbito deste processo, foi realizada uma análise vibrométrica a 41 equipamentos dinâmicos (motores e redutores), apresentando as anomalias e/ou avarias detetadas e as recomendações de ações de manutenção a efetuar. Trinta destes motores são dos ventiladores dos filtros do sistema de extração de pó. Este sistema de ventilação, representado na figura 6.1, tem como principal função a remoção, captura e armazenamento de partículas poluentes (pó, serrim e aparas de madeira) resultantes do processo produtivo da fábrica, de modo a reduzir a exposição humana a estas substâncias.



Figura 6.1 - Sistema de ventilação: ventiladores e câmaras de armazenamento (filtros)

Trata-se de motores de indução (ver figura 6.2), utilizados como geradores de vácuo ou sucção, que se encontram agregados a condutas rígidas e tubos flexíveis até ao ponto de utilização (equipamento ou linha), sendo os resíduos resultantes do processo armazenados dentro de câmaras ou filtros.



Figura 6.2 -Motor de ventilador

Estes motores foram identificados como críticos para o processo produtivo, uma vez que, se algum deles falhar, para automaticamente a linha que lhe está associada, considerando-se a análise de vibrações como a técnica mais adequada para avaliar o seu estado. Os restantes motores estudados são motores de equipamentos de diferentes linhas de produção, tendo-se utilizado o mesmo critério na sua seleção para estudo. A lista de todos os motores sujeitos a inspeção encontram-se distribuídos por área e linha de produção na tabela 6.1.

Tabela 6.1 - Motores sujeitos a análise de vibrações

Área	Linha	Motor
<i>Cutting</i>	950087	F3V2
	950087	Motor serra longitudinal
<i>Profiling</i>	948006	Filtro 1 Ventilador 1 (F1V1)
	948003.1/948005.1	F1V2
	948003.1/948005.1	F1V3
	948005.1	F2V1
	948003.2	F2V2
	948005.4	F2V4
	948001	F3V1
	231134.1/231134.3	F4V1
	948005.2	F4V3
	948003.2/231134.4	F4V4
	948005.4	F5V4
	948002	F6V1
	231134.3	Bomba de vácuo
	948006	Motor fresadora
	948003.1	Motor Weinig
948001	Moto-reductor transporte	
<i>EB&D</i>	231130	F8V1
	231130	F8V2
	231132	F9V2
	231130	F10V1
	231131	F10V2
	231131	F10V3
<i>Lacquering</i>	948004.1	F2V3

	948004.1	F3V3
	948013	F5V1
	948014	F5V2
	948015	F5V3
	948016	F6V3
	231140	F9V1
	231140	F9V3
	948014	Box
	948015	Box
	948016	Box
	948014	Hiper filtro
	948014	Bomba de vácuo entrada
	948014	Bomba de vácuo saída
Toda a fábrica	-	Ventilador de transporte
		Ventilador de transporte
		<i>Purification Plant</i>

6.1.2 Caracterização da análise

As inspeções de monitorização e diagnóstico desenvolveram-se a partir de um sistema informático de gestão, constituído por uma base de dados, onde estão configurados os equipamentos a inspecionar, pontos de leitura e parâmetros vibrométricos a escolher. Este sistema permite manter um arquivo permanente das diversas inspeções e o tratamento dos dados resultantes das mesmas, como a comparação de espectros e “máscaras” de aceitação, curva de tendência de níveis globais e frequências características do equipamento, histórico de intervenções, cálculo e análise estatística dos valores globais de velocidade de vibração e envelope de aceleração.

Tendo como finalidade a caracterização das condições de instalação e o estado de operacionalidade dos equipamentos a inspecionar, foram implementadas diversas técnicas de análise e diagnóstico, sendo de referir:

- Controlo sensorial, onde são observadas as condições de instalação dos equipamentos, estado de conservação geral e observação estroboscópica da união de acoplamento, onde aplicável, e controlo de temperaturas pela utilização de termómetro de infravermelhos;
- Classificação do equipamento de acordo com a norma ISO 10816. Registo dos níveis globais de velocidade de vibração ($\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}\text{RMS}$) e níveis globais envelope de aceleração (gE), dentro das bandas de frequência definidas para cada ponto de medição;

- Registo de espectros com bandas de frequência de acordo com as frequências típicas de cada órgão/rolamento. Identificação de anomalias ou avarias tais como: desequilíbrio, desalinhamento, folgas, desapertos, veios empenados, ressonância, fenómenos aerodinâmicos e hidráulicos, avarias ou anomalias nas estruturas de apoio e de assentamento dos equipamentos, degradação de engrenagens e componentes dos rolamentos (anel externo, anel interno, elementos rolantes e gaiola);
- Implementação de técnicas de deteção precoce de avarias em rolamentos através da análise do espectro de envelope e da forma de onda. Por cada rolamento são definidos filtros de acordo com os diversos estágios de degradação. No caso específico dos equipamentos de baixa velocidade de rotação são implementadas técnicas específicas para análise dos rolamentos;
- Análise da forma de onda com períodos diferenciados de forma a identificar batimentos ou impactos, sempre que seja detetada alguma anomalia que exija uma análise mais profunda;
- Análise de condição elétrica para verificação do estado do motor (barras partidas ou fissuradas e desequilíbrio do campo magnético).

Os equipamentos de medição e ensaio utilizados na análise e diagnóstico foram um analisador FFT/coletor de dados, *software* de arquivo, tratamento e análise, lâmpada estroboscópica, termómetro de infravermelhos, acelerómetro com amplificação interna e sensibilidade de 100 mV.g⁻¹, computador e máquina fotográfica digital.

6.1.3 Critérios de avaliação

A avaliação de severidade vibratória dos equipamentos baseou-se na norma ISO 10816, e na carta de severidade “envelope”, representadas nas tabelas do Anexo XIV.

Para além disso e para uma perceção mais fácil da criticidade dos equipamentos, no final de cada inspeção os dados obtidos foram também processados e cruzados entre si, obtendo-se uma visão global dos níveis de operacionalidade tendo por base os critérios a seguir apresentados:

- Ok: para equipamento em boa condição de funcionamento;
- Vigilância 1: equipamento evidenciando uma anomalia ou avaria em desenvolvimento;
- Vigilância 2: equipamento em condição aceitável mas com anomalia ou avaria em observação;

- Vigilância 3: equipamento com avaria em fase avançada de desenvolvimento;
- Crítico: equipamento cujo estado de operacionalidade possa estar em causa, a curto prazo, dada a severidade do problema. Requer uma intervenção no imediato.

6.1.4 Resultados obtidos nos ensaios dinâmicos

Os ensaios realizados tiveram por objetivo caracterizar as frequências típicas de funcionamento dos equipamentos, de forma a estabelecer a relação entre as amplitudes e problemas mecânicos ou elétricos. Neste subcapítulo optou-se por detalhar o estado de condição dos equipamentos que apresentam maior evidência de componentes em degradação.

Os valores de amplitude de vibração global (mm.s⁻¹ RMS) registados no F1V1 são considerados “Bons” de acordo com a norma ISO 10816. Os valores globais em “Envelope” (gE), encontram-se no patamar considerado de “Alerta”, segundo a carta de severidade.

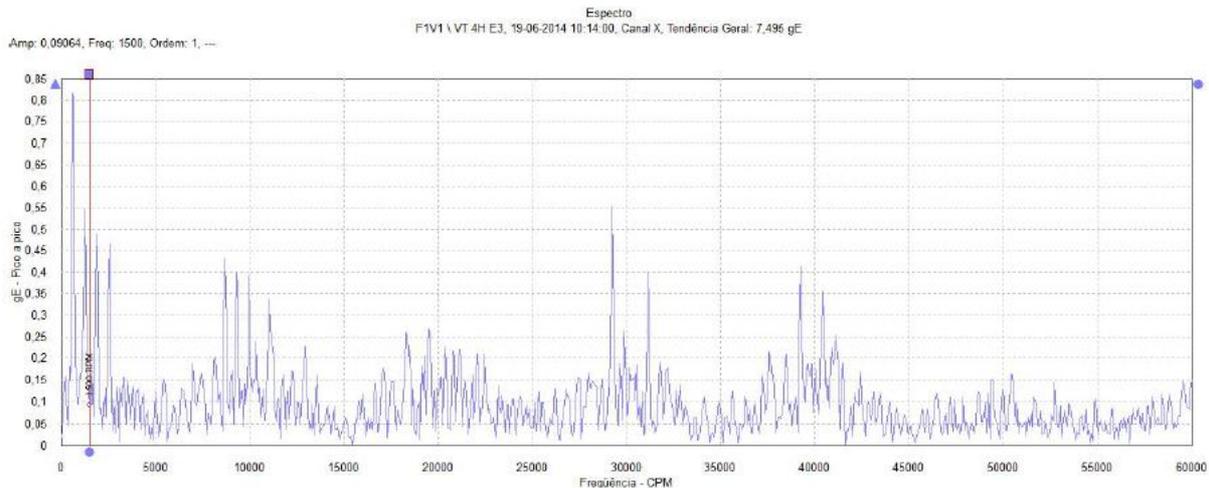


Figura 6.3 - Espectro de frequência em “envelope” (gE) registado no ponto 4 do F1V1

A análise espectral em “envelope”, gama específica de altas frequências (Pruftechnik, 2002), revela frequências anómalas não síncronas da velocidade (figura 6.3) que deverão estar associadas aos rolamentos instalados no motor F1V1, sugerindo-se por isso a sua substituição.

Os valores de amplitude de vibração global (mm.s⁻¹ RMS) registados no F2V1, F2V2, F5V2 e F5V3 são considerados “Severos” de acordo com a norma ISO 10816. Os valores globais em “Envelope” (gE), encontram-se no patamar considerado “Bom”, segundo a carta de severidade.

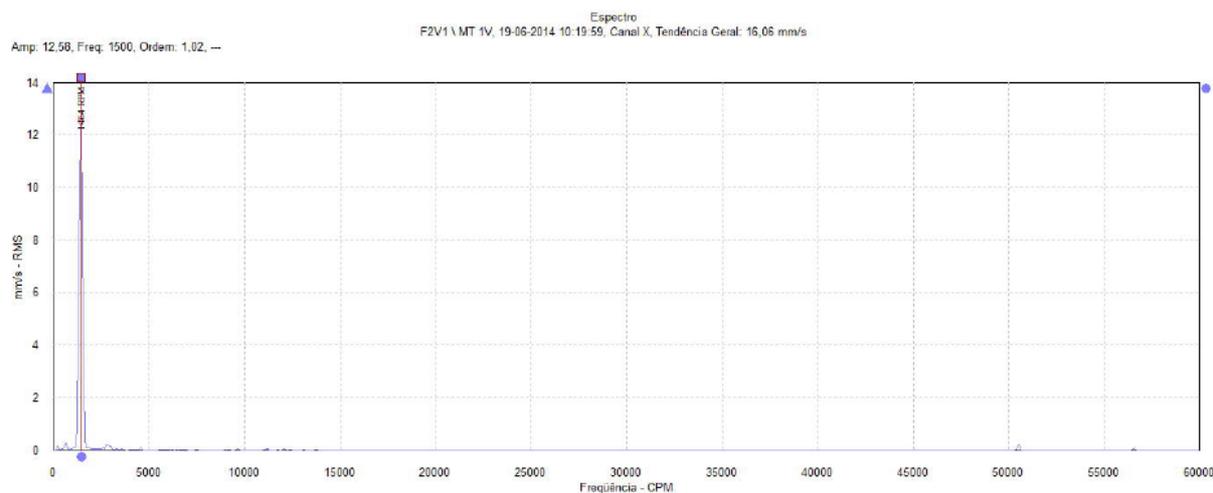


Figura 6.4 - Espectro de frequência em velocidade (mm.s⁻¹ RMS) registrado no ponto 1 do motor do ventilador F2V1

A análise espectral revela valores elevados de vibração nos motores à semelhança do registado no F2V1 (Figura 6.4), que podem estar associados ao desalinhamento do motor e ao tensionamento das correias. Os espectros registados nas chumaceiras do ventilador não evidenciam a existência de desequilíbrio como principal causa dos elevados valores registados. Sugere-se a verificação do tensionamento das correias e alinhamento do motor e, após esta ação, nova recolha de dados para se avaliar as condições de funcionamento do ventilador.

Os valores de amplitude de vibração global (mm.s⁻¹ RMS) registados no F3V1 são considerados “Bons” de acordo com a norma ISO 10816 e os valores globais em “Envelope” (gE), encontram-se no patamar considerado de “Alerta”, segundo a carta de severidade.

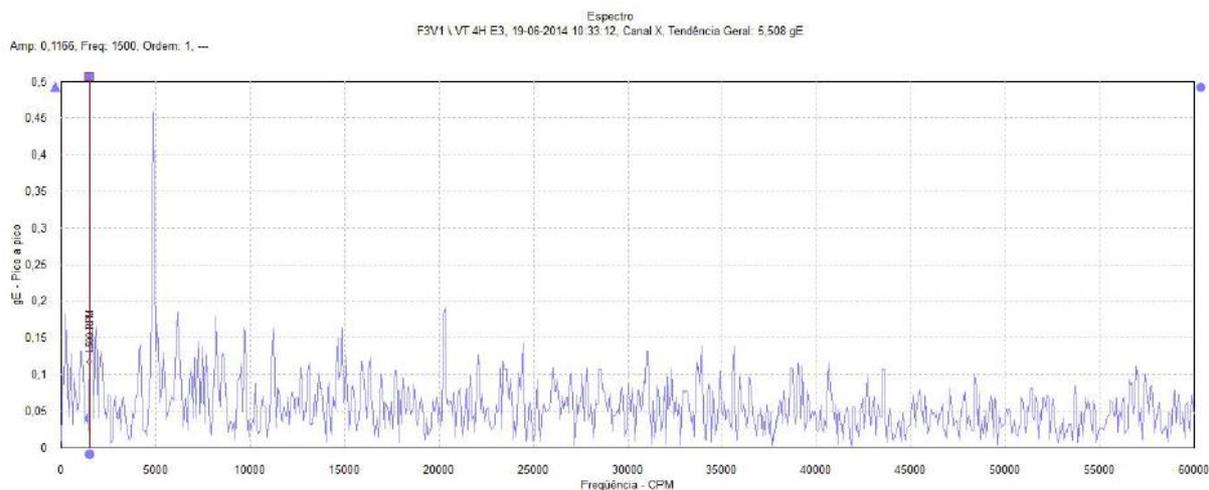


Figura 6.5 - Espectro de frequência em “envelope” (gE) registrado no ponto 4 do F3V1

A análise espectral da figura 6.5 revela frequências anómalas não síncronas da velocidade que deverão estar associadas aos rolamentos instalados no motor F3V1. A

amplitude dessas frequências ainda é baixa pelo que se sugere a lubrificação dos rolamentos e nova inspeção de avaliação às condições de funcionamento do ventilador.

Os valores de amplitude de vibração global (mm.s⁻¹ RMS) registados no F3V3 são considerados “Bons” de acordo com a norma ISO 10816 e os valores globais em “Envelope” (gE), encontram-se no patamar considerado de “Alerta”, segundo a carta de severidade.

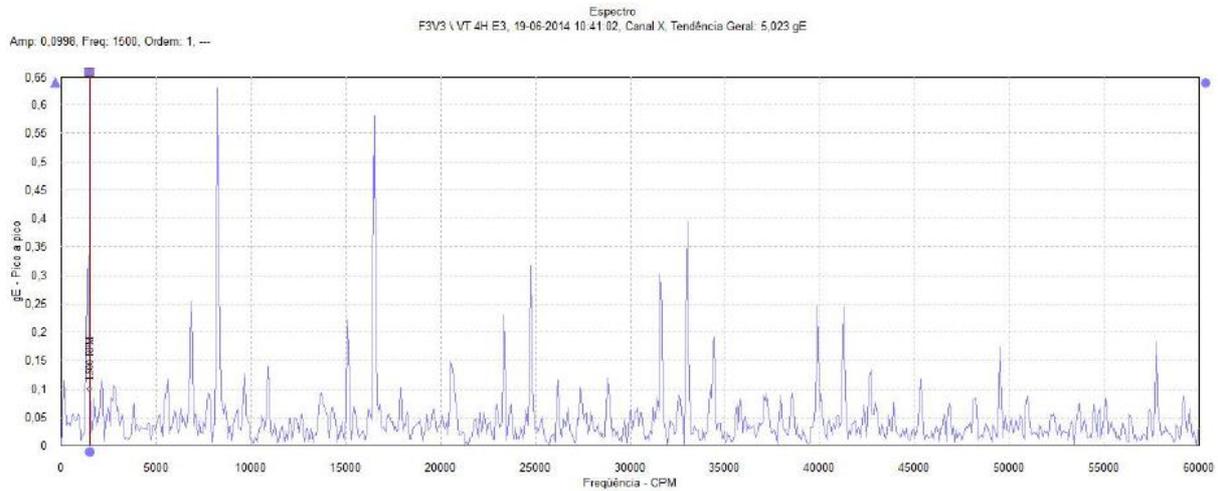


Figura 6.6 - Espectro de frequência em “envelope” (gE) registado no ponto 4 do F3V3

A análise espectral da figura 6.6 revela frequências anómalas não síncronas da velocidade que deverão estar associadas aos rolamentos instalados no motor F3V3, sugerindo-se a substituição dos mesmos.

Os valores de amplitude de vibração global (mm.s⁻¹ RMS) registados no F4V1 são considerados “Bons” de acordo com a norma ISO 10816 e os valores globais em “Envelope” (gE), encontram-se no patamar considerado de “Alerta”, segundo a carta de severidade.

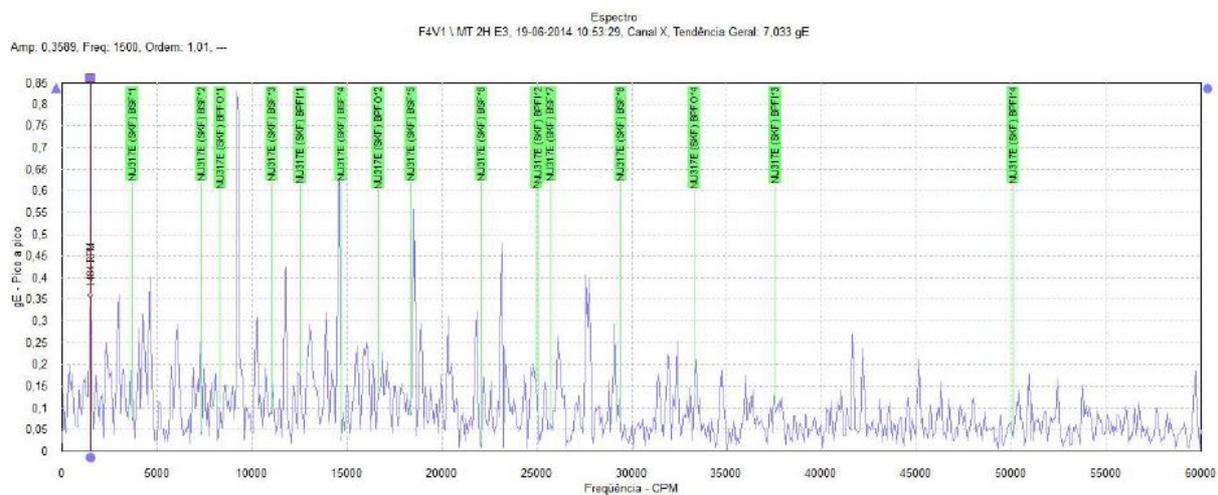


Figura 6.7 - Espectro de frequência em “envelope” (gE) registado no ponto 2 do F4V1

A análise espectral da figura 6.7 revela frequências anómalas não síncronas da velocidade que deverão estar associadas aos rolamentos instalados no motor F4V1, sugerindo-se a substituição dos mesmos.

Os valores de amplitude de vibração global (mm.s⁻¹ RMS) registados no F6V1 são considerados “Bons” de acordo com a norma ISO 10816 e os valores globais em “Envelope” (gE), encontram-se no patamar considerado de “Alerta”, segundo a carta de severidade.

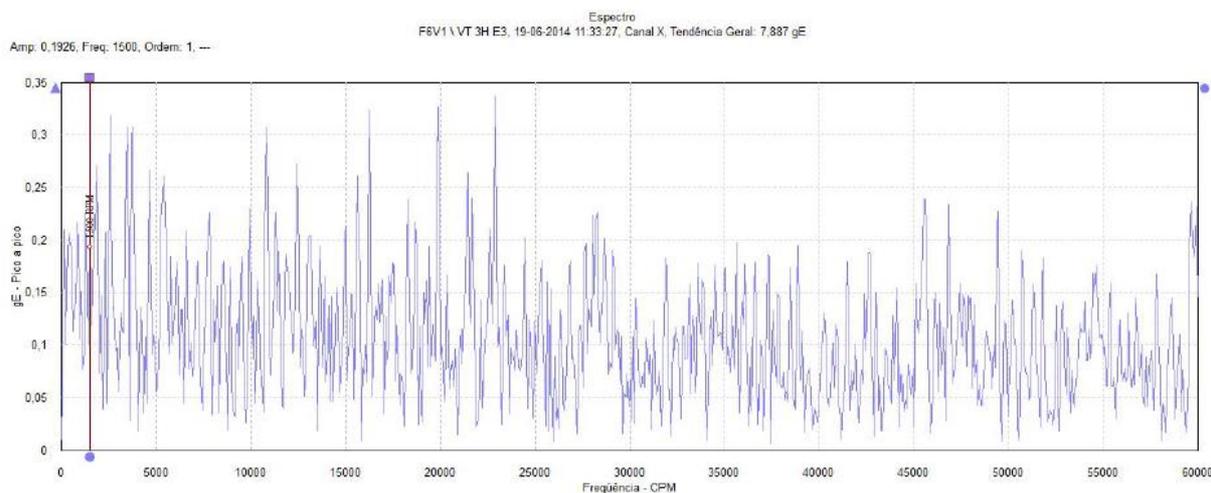


Figura 6.8 - Espectro de frequência em “envelope” (gE) registado no ponto 3 do F6V1

A análise espectral da figura 6.8 revela frequências anómalas não síncronas da velocidade que deverão estar associadas aos rolamentos instalados no motor F6V1. A amplitude destas frequências ainda é baixa pelo que se aconselha a lubrificação dos rolamentos e nova inspeção de avaliação às condições de funcionamento do ventilador.

Os valores de amplitude de vibração global (mm.s⁻¹ RMS) registados no motor da box da linha 948015, Purification Plant e F10V1 são considerados “Severos” de acordo com a norma ISO 10816 e os valores globais em “Envelope” (gE), encontram-se no patamar considerado “Bom”, segundo a carta de severidade.

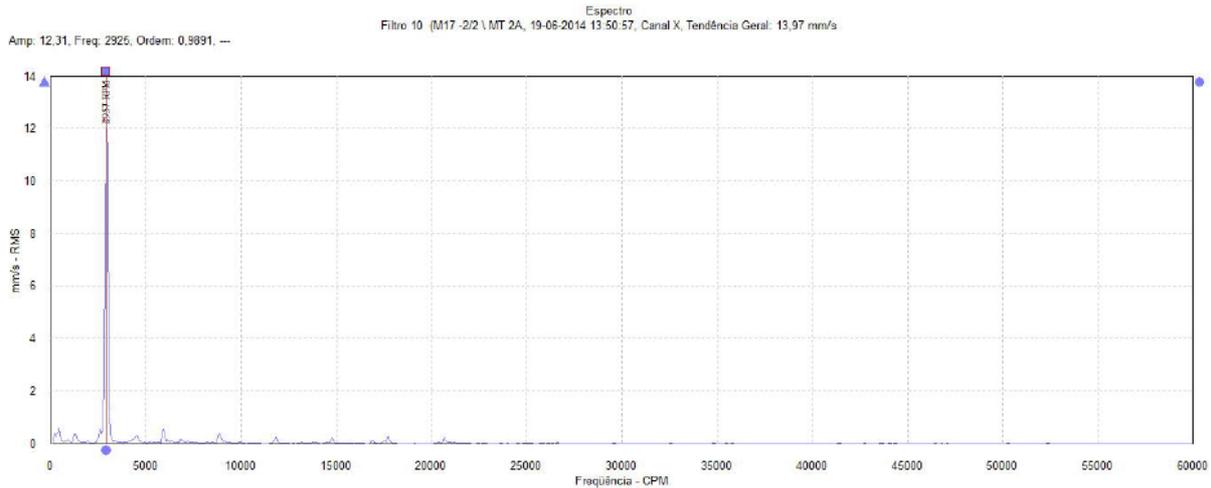


Figura 6.9 - Espectro de frequência em “envelope” (gE) registrado no ponto 3 do F10V1

A análise espectral da figura 6.9 revela que a frequência predominante e responsável pelos elevados valores registados está associada ao desequilíbrio dos rotores, eventualmente pelo material agregado aos mesmos proveniente do funcionamento dos ventiladores. Aconselha-se a limpeza das turbinas dos ventiladores e, após estas ações, nova recolha de dados para avaliar as condições de funcionamento e a eventual necessidade de equilibragem dos rotores.

6.1.5 Análise de resultados e recomendações

No que diz respeito ao nível de severidade vibratória (ISO 10816), a generalidade dos equipamentos encontra-se submetida a níveis considerados “Bons / Aceitáveis”.

Nos ventiladores cujos espectros recolhidos apresentam frequências anómalas, contudo o nível global de vibração registado em aceleração é baixo, deverá proceder-se à lubrificação dos rolamentos, caso seja possível, e realizar-se nova inspeção a curto prazo de modo a avaliar a evolução.

Nos equipamentos referenciados com valores de amplitude global de vibração em velocidade (mm.s⁻¹ RMS) no patamar classificado como “Severos” de acordo com a norma ISO 10816, deverão ser alvo de limpeza das turbinas de forma a remover toda a sujidade e, posteriormente, deverá efetuar-se uma nova recolha de dados para avaliar as novas condições de funcionamento. A equilibragem dinâmica aos rotores pode ser necessária caso as limpezas não sejam suficientes para colocar os equipamentos dentro dos valores considerados aceitáveis com base na referida norma.

Relativamente às correias de acionamento dos ventiladores, devido à pouca visibilidade dos resguardos, não foi possível verificar, através da lâmpada estroboscópica, os seus estados de conservação, bem como o seu tensionamento. De salientar que tensionamentos excessivos poderão conduzir a uma degradação prematura dos componentes e contribuir para potencializar a vibração dos equipamentos que estejam desalinhados. Recomenda-se assim uma inspeção ao estado geral das correias, respetiva substituição se assim se justificar e o devido alinhamento.

As análises espectrais dos equipamentos referenciados como em bom estado revelam frequências típicas de funcionamento, não evidenciando qualquer anomalia em desenvolvimento que possa colocar em risco a operacionalidade dos equipamentos a curto prazo.

No Anexo XV, encontra-se um quadro resumo da análise de resultados e recomendações a efetuar para todos os motores inspecionados, sendo que na tabela 6.2 se apresenta o estado de operacionalidade dos equipamentos por área de produção. Os valores apresentados dizem respeito ao número de equipamentos analisados.

Tabela 6.2 - Estado de operacionalidade dos equipamentos por área de produção

Área produção	Ok	Vigilância 1	Vigilância 2	Vigilância 3	Crítico	Total
<i>Cutting</i>	2	-	-	-	-	2
<i>Profiling</i>	9	1	-	6	-	16
<i>EB&D</i>	7	-	-	1	-	8
<i>Lacquering</i>	8	-	-	4	-	12
Toda a fábrica	2	-	1	-	--	3
Total	28	1	1	11	0	41

6.2 Termografia

6.2.1 Introdução

A empresa procedeu também, no período decorrente do estágio, à realização de termografia a todos os seus quadros elétricos. Decidiu-se efetuar esta análise nos períodos de maior consumo energético, quando as anomalias do sistema elétrico em análise se tornam mais evidentes e considerou-se que este deve ser um processo que deve ser executado com alguma regularidade, de modo a detetar continuamente as anomalias e garantir a eliminação das mesmas.

A análise termográfica associada a componentes elétricos defeituosos baseia-se na identificação de anomalias térmicas no sistema, que se podem dever na maior parte dos casos

a aumento de temperatura, em função de um aumento anormal da sua resistência Ohmica, devido à ocorrência de oxidação, corrosão ou falta de contacto. Desta forma, um componente defeituoso apresentar-se-á como um ponto quente em comparação com o ambiente ou outros componentes similares considerados em bom estado de funcionamento.

O método mais usado na indústria é a comparação termográfica, sendo que esta comparação pode ser quantitativa ou qualitativa. A termografia quantitativa é um método utilizado para avaliar a condição do equipamento, através da comparação dos valores de temperatura com equipamentos idênticos, valores de referência ou limites. O método de comparação qualitativo é idêntico ao anterior, contudo, em vez de utilizar a comparação de valores, utiliza uma imagem padrão termográfica. Embora este método permita detetar as deficiências, é através das medições quantitativas que se consegue determinar a gravidade.

A aplicação da técnica termográfica na monitorização de equipamentos implica também a definição de um critério para a avaliação das análises efetuadas. Um dos critérios muito utilizado prende-se com o uso da diferença de temperaturas (ΔT). Ele permite definir a rapidez da intervenção a efetuar de acordo com o valor resultante da diferença entre o maior valor de temperatura e a temperatura de referência, que normalmente é a temperatura do ar ambiente, um componente semelhante nas mesmas condições ou a temperatura máxima admissível do componente (Hitchcock, 2003).

Aliado a este critério, pode também recorrer-se ao histórico do equipamento como forma de identificar variações na temperatura ao longo das medições efetuadas.

O equipamento utilizado nas medições foi uma câmara termográfica. Esta câmara possui a capacidade de capturar imagens digitais e térmicas e apresentar valores quantitativos da temperatura inferior e superior, bem como o seu ΔT .

Nesta subsecção demonstram-se algumas das anomalias térmicas que foram detetadas na empresa em estudo e as ações corretivas recomendadas para as resolver.

6.2.2 Anomalias térmicas detetadas e ações corretivas

As anomalias são identificadas por meio de um termograma (imagem de infra-vermelhos) que permite indicar, através de cores, os locais onde o aumento de temperatura é mais significativo e também as temperaturas registadas. Na figura 6.10, encontra-se representado, à esquerda, um exemplo de um termograma com a escala de temperatura, e à direita, a fotografia do local em análise.

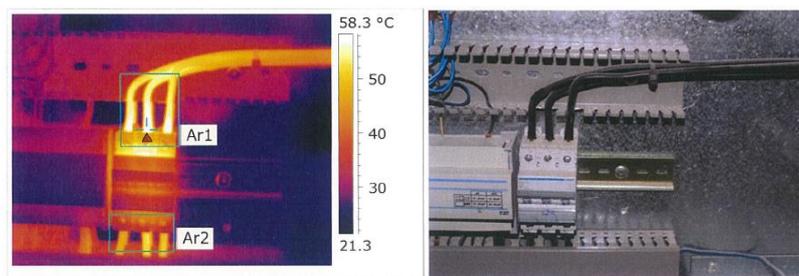


Figura 6.10 - Termograma do disjuntor Q4 do quadro U2051644

Neste caso específico, pode-se verificar um aumento considerável de temperatura nas ligações superiores do disjuntor, Ar1 (63°C), em comparação com uma menor temperatura registada nas ligações inferiores, Ar2 (54°C), aconselhando-se por isso a sua substituição.

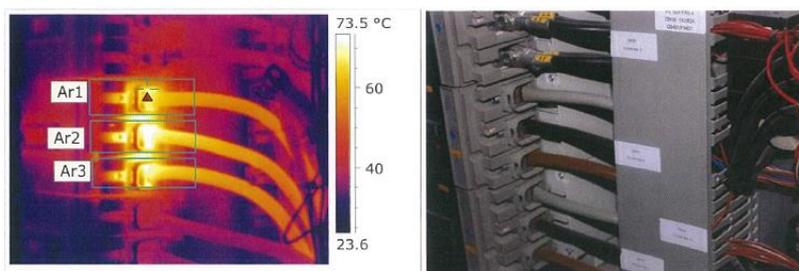


Figura 6.11 - Termograma do disjuntor Q9201 do quadro U2050674

Na figura 6.11 encontra-se representado outro dos problemas detetados pela termografia. Os terminais de ligação das três fases (Ar1, Ar2 e Ar3) apresentam uma temperatura de cerca de 75°C, encontrando-se com possível mau aperto, sendo necessário proceder ao seu cravamento.

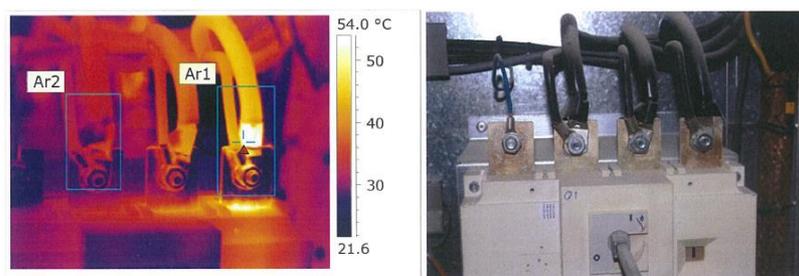


Figura 6.12 - Termograma do disjuntor de chegada Q1 do quadro U2051640

No termograma do disjuntor de chegada Q1 do quadro U2051640 (figura 6.12) encontram-se representadas as ligações das fases “T” e “R” pelos pontos Ar1 e Ar2, respetivamente. Por comparação de temperaturas nestes dois pontos (56°C em Ar1 e 39°C em Ar2), verifica-se que poderá existir um mau cravamento do terminal superior da fase “T”. Recomenda-se por isso a sua substituição.

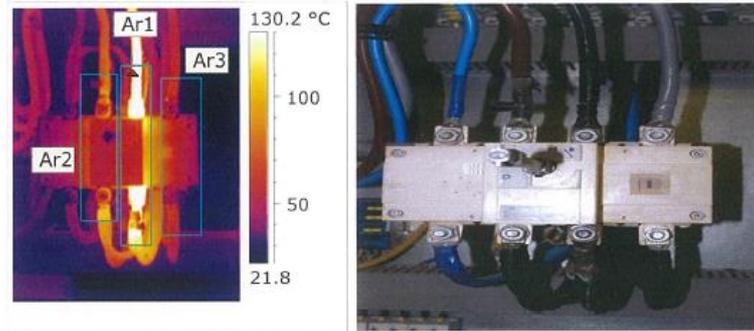


Figura 6.13 - Termograma do disjuntor de chegada Busbar 39 do quadro U2050481

No termograma da figura 6.13 tem-se um aquecimento excessivo nas ligações das três fases, especialmente da fase representada em Ar1. Aconselha-se uma intervenção urgente para substituir os terminais e pontas de cabo e uma inspeção visual e de medição dos valores de corrente periódica.

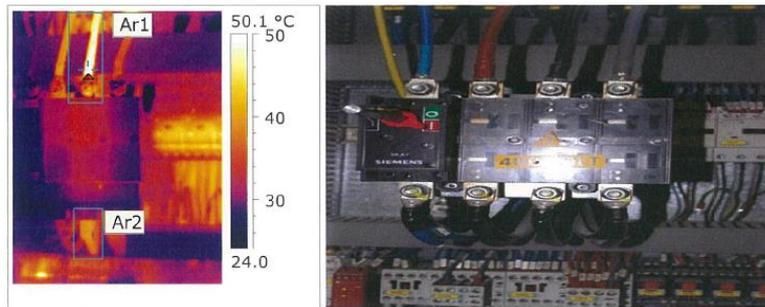


Figura 6.14 -Termograma do disjuntor de chegada do quadro de saída da linha 231140

Na figura 6.14 verifica-se uma diferença significativa de temperaturas nas ligações superiores (Ar1) e inferiores (Ar2) da fase “S”. Isto poderá dever-se a um possível mau cravamento do terminal superior, sendo aconselhável a sua substituição.

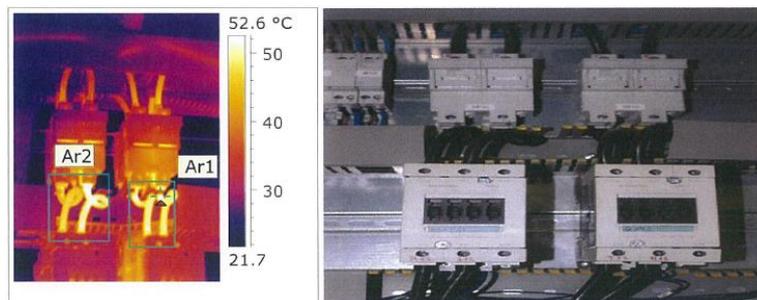


Figura 6.15 - Termograma das ligações 14FU1e 15FU1 do quadro U2050733

O termograma da figura 6.15, por sua vez, apresenta valores elevados de temperatura nas ligações entre os contactores e porta fusíveis, devendo proceder-se à substituição dos cabos de ligação.

6.3 Ultrassonografia

6.3.1 Introdução

Outra das técnicas implementadas na PFF foi a medição ultrassónica de fugas de ar comprimido, com vista a determinar o seu caudal e conseqüente custo energético.

Os sistemas de ar comprimido são dos principais consumidores de energia eléctrica numa instalação fabril e são utilizados na grande maioria dos processos industriais, tornando-se importante a otimização da sua exploração. Devido ao próprio princípio de funcionamento, são bastante comuns perdas de carga e fugas nestes sistemas, no entanto, estas não devem ultrapassar 10% da capacidade instalada (Novais, 1995).

As fugas de ar comprimido representam uma perda elevada pois consomem ar continuamente, uma vez que, a grande maioria das centrais de compressão de ar funcionam de forma ininterrupta durante todo o ano. Segundo um estudo independente de sistemas de ar comprimido na União Europeia, realizado pelo Fraunhofer Institute ISI, o maior potencial de poupança deste tipo de energia reside na eliminação de fugas, como se demonstra no gráfico da figura 6.16.

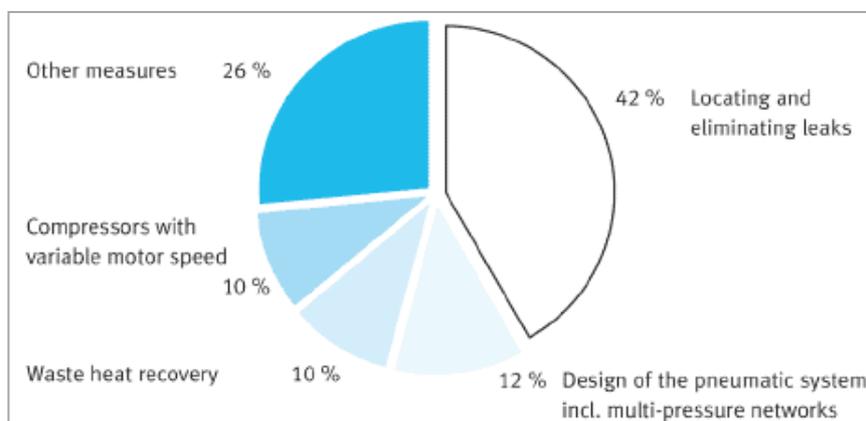


Figura 6.16 - Medidas de eficiência energética nos sistemas de ar comprimido

Esta medida representa cerca de 42% do potencial de poupança, sendo mais significativa do que ações como a conceção do sistema pneumático, recuperação de calor e implementação de compressores de velocidade variável.

De salientar que o uso racional deste tipo de energia é também uma boa medida que deve ser levada a cabo. É importante perceber, através de um estudo de todas as atividades que utilizam a energia pneumática, se o ar comprimido se apresenta como o mais viável em

termos de custo-benefício e se faz sentido usá-lo em certas circunstâncias, em detrimento por exemplo, da energia elétrica.

No que diz respeito à deteção de fugas na empresa, esta abrangeu os equipamentos de 7 secções do sistema produtivo (secção A a G), sendo que cada fuga foi identificada por meio de uma etiqueta e fotografada. As etiquetas representam fugas de nível baixo (cinza), fugas de nível médio (amarelo) e fugas de nível alto (vermelho). As fugas de nível médio e alto são as que geram uma maior perda económica, considerando-se por isso prioritárias na sua reparação.

6.3.2 Custo energético do ar comprimido

Para estimar o caudal debitado pelos compressores e o seu custo energético foram tidas em consideração as condições ambientais da sala dos compressores:

- Temperatura média do ar: 20°C
- Altitude em relação ao nível do mar: 420m
- Humidade relativa: 60%

A norma DIN1343 estabelece que nestas condições de funcionamento, e sabendo que o custo elétrico na empresa é de 0,092€/kWh, o custo de produção do ar comprimido será de 0,020€/m³.

Para estimar o consumo médio de ar comprimido durante a produção foi tido em consideração o regime de funcionamento da empresa:

- Horas por dia: 24 horas/dia
- Dias por semana: 7 dias/semana
- Horas por ano: 8400 horas/ano

Na tabela 6.3 encontram-se representados, em l/min, os caudais de fugas típicas de ar comprimido, em função da pressão instalada e do diâmetro do furo.

Tabela 6.3 - Caudal de fugas de ar comprimido (l/min), em função da pressão e do diâmetro do furo

Pressão (bar)	Diâmetro (mm)					
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
3	9	36	81	145	226	325
4	11	45	102	181	282	407
5	14	54	122	217	339	488
6	16	63	142	253	395	569
7	18	72	163	289	452	651
8	20	81	183	325	508	732

Como exemplo de avaliação da importância de reparação de fugas, um orifício de 1mm diâmetro numa rede de 6 bar, corresponde a 63 l/min de ar comprimido desperdiçado. Sabendo-se o caudal da fuga de ar comprimido, o tempo de operação e o custo do ar comprimido, pode-se calcular, a partir da expressão 2.10, o custo da fuga.

$$\text{Custo fuga} = \text{Caudal} \times \text{Tempo de operação} \times \text{Custo ar comprimido} \quad (6.1)$$

Desta forma, apresenta-se na tabela 6.4 um quadro típico dos custos das fugas (em €) por ano de operação, em função da pressão instalada e do diâmetro do furo.

Tabela 6.4 - Custo anual de fugas de ar comprimido (€), em função da pressão e do diâmetro do furo

Pressão (bar)	Diâmetro (mm)					
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
3	90	360	809	1448	2257	3246
4	110	449	1019	1808	2816	4064
5	140	539	1218	2167	3385	4873
6	160	629	1418	2527	3945	5682
7	180	719	1628	2886	4514	6501
8	200	809	1828	3246	5073	7310

6.3.3 Fugas detetadas

Foram identificadas, com recurso a um dispositivo de medição de ultra-sons, 137 fugas, classificadas nos três diferentes níveis, de acordo com os intervalos representados na tabela 6.5.

Tabela 6.5 - Número de fugas por nível

Nível (l/min)	Baixo (< 2,5)	Médio (entre 2,5 e 8,7)	Alto (> 8,7)
Nº fugas	25	101	11

Estas fugas encontram-se distribuídas pelos diversos setores da PFF de acordo com o gráfico da figura 6.17, totalizando um caudal de 537 l/min, o que equivale a um custo anual de 5414 €.

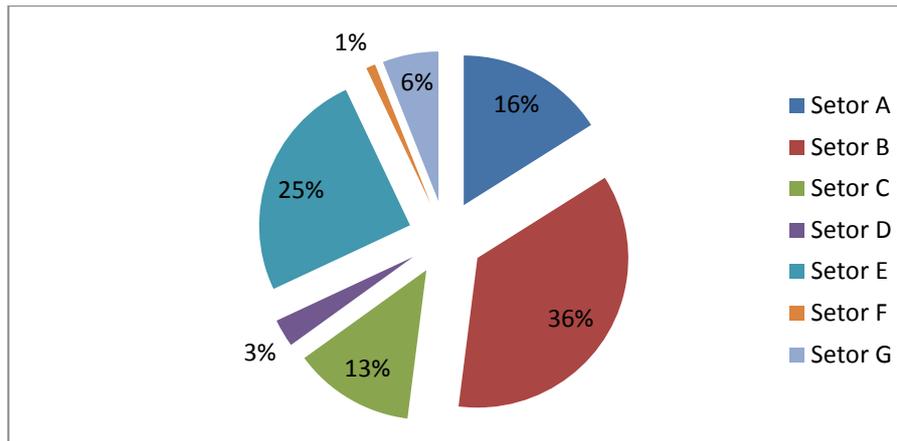


Figura 6.17 - Localização de fugas por setor da PFF

6.3.4 Ações de manutenção corretiva

No que diz respeito às ações de manutenção corretiva para a eliminação de fugas, verifica-se que estas podem dividir-se em: reparação do sistema de vedação na ligação dos tubos aos componentes, solucionando 66 fugas com um custo anual de 2170 €, substituição de componentes danificados por componentes novos, garantindo a eliminação de 52 fugas com um custo anual de 2558 € e revisão/reparação do sistema pneumático, permitindo a eliminação de 19 fugas com um custo de 686 € por ano.

No primeiro e no terceiro caso, a reparação é relativamente rápida, já que não envolve retirar componentes das máquinas. A necessidade de instalar material novo é diminuta. Nestes casos, deverão realizar-se algumas ações de reparação como as seguintes:

- Reparação do sistema de vedação entre a válvula e os acessórios;
- Reparação do sistema de vedação entre o acessório e o tubo;
- Reparação/substituição de tubo partido;
- Reparação do sistema de vedação interno de válvulas e cilindros;
- Otimização de situações por falta de sensibilização dos colaboradores.

Porém, em 52 locais de fuga, a sua eliminação só é possível substituindo os componentes por novos. Estas fugas encontram-se maioritariamente em cilindros e em unidades de tratamento de ar. Nestes foram detetados, em 18 pontos, reguladores e filtros partidos, representado um total de 800 € anuais em fugas.

7. CONCLUSÕES

No presente e último capítulo expõem-se as considerações finais do trabalho realizado, com especial ênfase na avaliação do cumprimento dos objetivos inicialmente propostos, e apresentam-se algumas propostas de ações a desenvolver no futuro, numa perspetiva de melhoria contínua do desempenho da manutenção.

7.1 Considerações gerais

No final deste trabalho pode concluir-se que os objetivos inicialmente propostos foram alcançados. Foi efetuada uma análise ao estado atual da manutenção na PFF, e implementado um programa, com particular incidência na manutenção autónoma, preventiva sistemática e preventiva condicionada, que permitiu dar resposta às necessidades existentes no departamento de manutenção.

Através da implementação do programa de manutenção autónoma como rotina da empresa, conseguiu-se consciencializar os operadores para a importância da manutenção e estabelecer um método de trabalho normalizado, definindo-se modelos de inspeção e procedimentos adequados a todos os equipamentos da fábrica. A manutenção autónoma trouxe benefícios significativos para a empresa, na medida em que, com a realização de tarefas de manutenção por parte dos operadores, foi possível acompanhar o estado dos equipamentos e antecipar possíveis problemas.

O desenvolvimento do índice de criticidade permitiu, por sua vez, através de um estudo de vários indicadores de desempenho, redefinir o plano de manutenção preventiva sistemática existente no departamento, priorizando as linhas e equipamentos de produção mais problemáticos face aos restantes. Nestes casos sugeriram-se algumas medidas como o aumento das taxas de manutenção preventiva planeada e realizada, aumento das horas de mão-de-obra disponíveis e a alteração de procedimentos de trabalho inadequados.

Relativamente à manutenção preventiva condicionada, aplicaram-se três técnicas distintas - análise de vibrações, termografia, e ultrassonografia – com o intuito de complementar as ações preventivas sistemáticas de periodicidade fixa. Através delas foi possível detetar problemas existentes em vários equipamentos e reduzir custos significativos, inicialmente impercetíveis.

Uma das maiores dificuldades sentidas neste trabalho relaciona-se com a possibilidade de comprovar o impacto que o programa de manutenção representou no desempenho da empresa, uma vez que o projeto decorreu num espaço de tempo insuficiente.

7.2 Perspetivas de trabalho futuro

Finaliza-se com o destaque de algumas ideias que podem ser desenvolvidas e aplicadas pela empresa ou em trabalhos futuros relacionados com este projeto.

No que diz respeito ao programa de manutenção autónoma, sugere-se a alteração método de registo, de papel para o *software* de manutenção Aretics Tekla, de modo a reduzir desperdícios e facilitar o controlo e tratamento da informação.

Poderá também ponderar-se a introdução de um indicador económico no cálculo do índice de criticidade, para avaliar a criticidade de uma forma mais pragmática. Linhas com idêntico índice de criticidade podem não apresentar o mesmo grau de importância no que diz respeito a indicadores de custos, devendo estes ser considerados na sua avaliação. Sugerem-se indicadores como “custo da manutenção corretiva / custo da manutenção planeada” e “valor de produção / hora de paragem”.

Ainda relativamente ao índice de criticidade, deve alargar-se o estudo dos equipamentos e efetuar-se também uma análise às linhas que apresentam um valor mais baixo neste índice, por forma a identificar os equipamentos mais problemáticos das mesmas. Outra das recomendações prende-se com a identificação, aquando da abertura de uma OT, não só da linha e do equipamento de produção, mas também do componente / órgão, de modo a aumentar, posteriormente, o nível de detalhe na análise de criticidade.

Para terminar, sugere-se o recurso a mais técnicas de manutenção condicionada na PFF, nomeadamente a análise ao óleo / ferrografia, e a aplicação das três técnicas já implementadas num maior número de equipamentos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ab-Samat, H., Khoe, P. G., Liao, W. S., Tan, H. F., Yap, W. Y., & Kamaruddin, S. (2012). Implementation of Autonomous Maintenance in Semiconductor Industry: A Case Study. *Manufacturing Engineering and Automation II, Pts 1-3*, 591-593, 708-711. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.591-593.708
- Aven, T. (2009). Identification of safety and security critical systems and activities. *Reliability Engineering & System Safety*, 94(2), 404-411.
- Borris, S. (2005). Total Productive Maintenance: Proven Strategies and Techniques to Keep Equipment Running at Maximum Efficiency: McGraw-Hill.
- Cabral, J. P. (2004). Organização e Gestão da Manutenção - Dos Conceitos à Prática. Lisboa: Lidel - Edições Técnicas, Lda.
- Carnero, M. C., & Novés, J. L. (2006). Selection of computerised maintenance management system by means of multicriterial methods. *Production Planning & Control*, 17(4), 335-354.
- Chan, F. T. S., Lau, H. C. W., Ip, R. W. L., Chan, H. K., & Kong, S. (2005). Implementation of total productive maintenance: A case study. *International Journal of Production Economics*, 95(1), 71-94. doi: 10.1016/j.ijpe.2003.10.021
- Chiu, H. N., & Huang, B. S. (1996). The economic design of x-control charts under a preventive maintenance policy. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 13(1), 61-71.
- Curry, A. (2005). L'action recherche en action: l'implication des étudiants et des professionnels. doi:http://www.ifla.org/IV/ifla71/papers/046f_trans-Curry.pdf
- Eddin. (2014). Calculation of the OEE. Retrieved from Eddin - Efficiency is your future website: doi:<http://edinn.com/en/oe.html>
- Ferreira, L. A. (1998). Uma Introdução à Manutenção. Porto: Publindústria, Edições Técnicas.
- Hijes, F. C. G. L., & Cartagena, J. J. R. (2006). Maintenance strategy based on a multicriterion classification of equipments. *Reliability Engineering & System Safety*, 91(4), 444-451.
- Hitchcock, L. (2003). Using Thermal Imaging To Help Solve Lubrication Problems. doi:<http://www.machinerylubrication.com/Read/583/thermal-imaging-lubrication>

- IKEA. (2014). As empresas do Grupo IKEA. Retrieved from IKEA Portugal - Móveis e decoração website: doi:http://www.ikea.com/ms/pt_PT/this-is-ikea/about-the-ikea-group/
- Ireland, F., & Dale, B. G. (2001). A study of total productive maintenance implementation. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 7(3), 183-192.
- Jonsson, P., & Lesshammar, M. (1999). Evaluation and improvement of manufacturing performance measurement systems - the role of OEE. *International Journal of Operations & Production Management*, 19(1), 55-78.
- Kans, M. (2008). An approach for determining the requirements of computerized maintenance management systems. *Computers in Industry*, 59(1), 32-40.
- Lawler, C. (2008). Action research as a congruent methodology for understanding wikis: the case of Wikiversity. *Journal of Interactive Media in Education*.
- LeanProduction. (2013). The traditional TPM model. Retrieved from Leanproduction.com - Your online resource for Lean-Based information and tools website: doi:<http://www.leanproduction.com/tpm.html>
- Mariz, R. N., & Picchi, F. A. (2013). Método para aplicação do trabalho padronizado. [Method for the application of standardized work in construction]. *Ambiente Construído*, 13(3), 7-27. doi: 10.1590/s1678-86212013000300002
- McKone, K. E., Schroeder, R. G., & Cua, K. O. (2001). The impact of total productive maintenance practices on manufacturing performance. *Journal of Operations Management*, 19(1), 39-58. doi: 10.1016/s0272-6963(00)00030-9
- McKone, K. E., Schroeder, R. G., Cua, K. O., & Decis Sci, I. (1998). Total productive maintenance: A contextual view. *Decision Sciences Institute 1998 Proceedings, Vols 1-3*, 1172-1174.
- McKone, K. E., & Weiss, E. N. (2000). Analysis of investments in autonomous maintenance activities. *Iie Transactions*, 32(9), 849-859.
- Meland, O. (2010). Employing Key Performance Indicators (KPIs) for improving processes within maintenance. *Reliability, Risk and Safety: Theory and Applications Vols 1-3*, 551-557.
- Mirshawka, V., & Olmedo, N. L. (1993). *Manutenção - Combate aos custos da não eficácia - a vez do Brasil*. São Paulo: Makron Books.
- Mobley, K., Higgins, L., & Wikoff, D. (2008). *Maintenance Engineering Handbook*. Seventh Edition: McGraw-Hill.

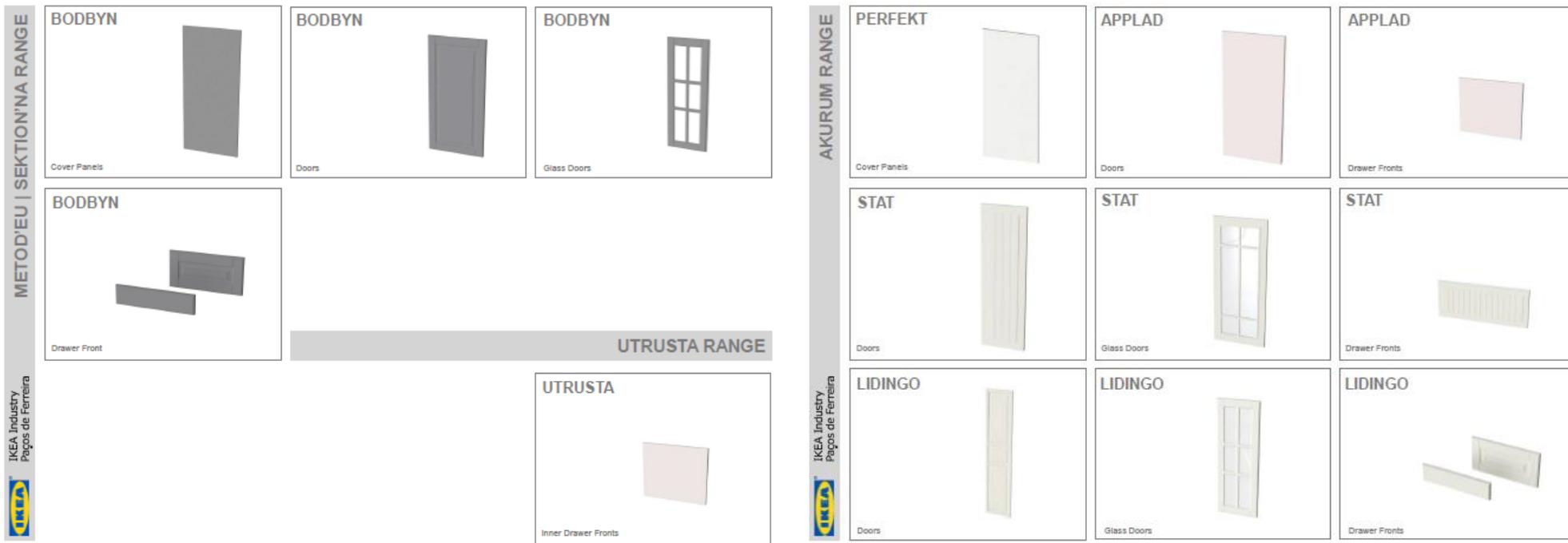
- Monchy, F. (1997). *La fonction maintenance - Formation à la gestion de la maintenance industrielle*. Paris: Elsevier Masson.
- Montgomery, D. C. (2009). *Introduction to Statistical Quality Control*. Jefferson city: John Wiley & Sons.
- Nadarajah, E., Sambasivan, M., & Yahya, S. (2005). Autonomous Maintenance – An effective shop-floor tool to improve productivity. *Journal of Technology Management and Entrepreneurship*, 3(2), 89-105.
- Nakajima, S. (1998). *Introduction to TPM*. Cambridge, MA: Productivity Press.
- Novais, J. (1995). *Ar Comprimido Industrial - Produção, Tratamento e Distribuição* (pp. 704): Fundação Calouste Gulbenkian.
- NPEN13306. (2007). Norma Portuguesa de manutenção. Terminologia da manutenção.: Instituto Português da Qualidade.
- NPEN15341. (2009). Norma Portuguesa de manutenção. Indicadores de desempenho de manutenção (KPI): Instituto Português da Qualidade.
- O'Brien, R. (2011). An Overview of the Methodological Approach of Action Research. Theory and Practice of Action Research. doi:<http://web.net/robrien/papers/arfinal.html>
- Park, K. S., & Han, S. W. (2001). Total Productive Maintenance: Impact on competitiveness and a framework for successful implementation. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing*, 11(4), 321-338.
- Pinto, C. V. (1999). *Organização e Gestão da Manutenção* (pp. 260). Lisboa: Monitor - Projetos e Edições, Lda.
- Pinto, J. P. (2008). *Lean Thinking: Introdução ao Pensamento Magro: Comunidade Lean Thinking*.
- Pinto, J. P. (2009). *Pensamento Lean: A Filosofia das Organizações Vencedoras*. Lisboa: Lidel - Edições Técnicas, Lda.
- Pinto, J. P. (2013). *Manutenção Lean*. Lisboa: Lidel - Edições Técnicas, Lda.
- Pinto, V. M. (1994). *Gestão da Manutenção*. Lisboa: IAPMEI.
- Pruftechnik. (2002). An Engineering's Guide: Making Maintenance Matter. doi:<http://www.oveducon.nl/uploads/files/An%20Engineers%20Guide%202012%20Making%20Maintenance%20Matter,%20Pruftechnik.pdf>
- Sousa, M. J., & Baptista, C. S. (2011). *Como fazer Investigação, Dissertações, Teses e Relatórios segundo Bolonha* (pp. 192). Lisboa: Factor - Grupo Lidel.

- Stenström, C., Parida, A., Kumar, U., & Galar, D. (2013). Performance indicators and terminology for value driven maintenance. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 19(3), 222 - 232.
- Stevenson, W. J. (2002). *Operations Management: McGraw-Hill International Editions*.
- Susman, G. I., & Evered, R. D. (1978). An Assessment of the Scientific Merits of Action Research. *Administrative Science Quarterly*, 23(4), 582-603.
- Suzuki, T. (1994). *TPM in Process Industries*. New York: Productivity Press.
- Szilágyi, G. R. B. (2009). Gerência de riscos. doi:<http://dc376.4shared.com/doc/cOo5wQAU/preview.html>
- Venkatesh, J. (2007). *An Introduction to Total Productive Maintenance (TPM)*.
- Willmott, P., & McCarthy, D. (2001). *TPM - A Route to World Class Performance*. Woburn: Butterworth-Heinemann.
- Yang, C. C., & Yang, K. J. (2013). An Integrated Model of the Toyota Production System with Total Quality Management and People Factors. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries*, 23(5), 450-461. doi: 10.1002/hfm.20335
- Yoshida, K., Hongo, E., Kimura, Y., Ueno, Y., Mitome, Y., Kaneda, S., & Morimoto, T. (1990). *Training for TPM: A Manufacturing Success Story*. Massachusetts: Productivity Press.

ANEXO I – LISTA DE PRODUTOS DA PFF

NEW HEMNES RANGE	NEW HEMNES  Hemnes Chest 2	NEW HEMNES  Hemnes Chest 3	NEW HEMNES  Hemnes Chest 6	METOD'EU SEKTION'NA RANGE	VEDDINGE  Cover Panels	VEDDINGE  Doors	VEDDINGE  Drawer Fronts
	NEW HEMNES  Hemnes Chest 8	BIRKLAND RANGE			HITTARP  Cover Panels	HITTARP  Doors	HITTARP  Glass Doors
	BIRKLAND  Doors	BIRKLAND  Glass Doors	HITTARP  Drawer Fronts		FORBATTRA  Cover Panels		

IKEA Industry Paços de Ferreira



ANEXO III – ÁREAS E LINHAS DE PRODUÇÃO DA PFF

Área	Linha	Designação / Função
<i>Cutting</i>	950087	Panel Saw
	950088	Calibration
<i>Profiling</i>	948001	Det & drill
	948002	Det fillings
	948003.1	Split saw & moulder
	948003.2	Split saw & moulder
	948005.1	Det & drill
	948005.2	Det plinths
	948005.3	Det & drill
	948005.4	Short end profiles
	948006	Det drawers
	231133	Grooving
	231134.1	CNC
	231134.2	CNC
	231134.3	CNC
	231134.4	CNC
EB & D	231130	Edge Banding Big
	231131	Edge Banding Small
	231132	Multifunction
<i>Lacquering</i>	948004.1	Vacuum narrow piece spray line
	948013	UV line
	948014	Spray line
	948015	Spray line
	948016	Combi line (UV+Spray)
	231140	Narrow UV spray line
	231141	Manual Spray Line
	RW	Rework
<i>Assembly & Packing</i>	948020	Dowels machine
	948022	Assembly & packing line
	948025	Packing line
	948027	Genax
	231150	Pre-assembly line
	231152	Glass assembly line
	231153	Strappex
	231154	Kalfass

ANEXO IV – INSTRUÇÃO TRABALHO MANUTENÇÃO PREVENTIVA (MIT)



Instrução Trabalho Preventiva

Nº MIT
Nº Página

<p style="text-align: center;">Objeto Manutenção</p> <p>Nº Equipamento:</p> <p>Designação:</p> <p>Frequência:</p>	
--	--

N.º operação	Paragem/ Tempo	Descrição	Foto

Departamento de Manutenção
Data

ANEXO V – REGISTO ATUAL MANUTENÇÃO AUTÓNOMA (EIRM)

Máquina / Linha									Comentários adicionais																																													
Mês	TURNO									DIÁRIA									SEMANAL									MENSAL																										
Onde																																																						
O Quê																																																						
Turno	1º T	2º T	3º T	1º T	2º T	3º T	1º T	2º T	3º T	1º T	2º T	3º T	1º T	2º T	3º T	1º T	2º T	3º T	1º T	2º T	3º T	1º T	2º T	3º T	1º T	2º T	3º T	1º T	2º T	3º T	1º T	2º T	3º T	1º T	2º T	3º T																		
Dia	OK / NOK	OK / NOK	OK / NOK	OK / NOK	OK / NOK	OK / NOK	OK / NOK	OK / NOK	OK / NOK	OK / NOK	OK / NOK	OK / NOK	OK / NOK	OK / NOK	OK / NOK	OK / NOK	OK / NOK	OK / NOK	OK / NOK	OK / NOK	OK / NOK	OK / NOK	OK / NOK	OK / NOK	OK / NOK	OK / NOK	OK / NOK	OK / NOK																										
1																																																						
2																																																						
3																																																						
4																																																						
5																																																						
6																																																						
7																																																						
8																																																						
9																																																						
10																																																						
11																																																						
12																																																						
13																																																						
14																																																						
15																																																						
16																																																						
17																																																						
18																																																						
19																																																						
20																																																						
21																																																						
22																																																						
23																																																						
24																																																						
25																																																						
26																																																						
27																																																						
28																																																						
29																																																						
30																																																						
31																																																						

- Se OK -> O operador que fez a tarefa preenche a respetiva célula a verde e regista o seu numero de operador.

- Se NOK -> O operador que fez a tarefa deve preencher a célula a vermelho e colocar o seu numero, abrir uma WO no Movex, e registar o número do pedido no ponto respectivo.

- Os Foremen devem assinar esta folha no dia útil seguinte ao término da mesma e entregar à Manutenção no dia útil seguinte.

- Comentários à manutenção autónoma deverão ser descritos no verso indicando sempre o número do item

	Ass. Foreman	Ass. Foreman	Ass. Foreman
	1º Turno _____	2º Turno _____	3º Turno _____

ANEXO VI – CALENDARIZAÇÃO MANUTENÇÃO AUTÓNOMA (3 TURNOS)



IKEA Industry
Paços de Ferreira

CALENDÁRIO DE MANUTENÇÃO AUTÓNOMA
3 TURNOS

MPL003
2014.01.01
1/1

MAQUINA: TODAS AS MAQUINAS										TIPO: Calendário											
CONSULTAR PROCEDIMENTO DE MANUTENÇÃO RESPETIVO																					
ANO / 2014																					
FREQUÊNCIA DA MANUTENÇÃO	MÊS	Jan-01					Fev-02					Mar-03					Abr-04				
	DIAS	1 a 4	5 a 11	12 a 18	19 a 25	26 a 1	2 a 8	9 a 15	16 a 22	23 a 1	2 a 8	9 a 15	16 a 22	23 a 29	30 a 5	6 a 12	13 a 19	20 a 26	27 a 3		
SEMANAS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18			
TURNOS		1,2,3	1,2,3	1,2,3	1,2,3	1,2,3	1,2,3	1,2,3	1,2,3	1,2,3	1,2,3	1,2,3	1,2,3	1,2,3	1,2,3	1,2,3	1,2,3	1,2,3			
DIÁRIA		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3		
SEMANAL		2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1		
MENSAL		1					2					3					1				
FREQUÊNCIA DA MANUTENÇÃO	MÊS	Mai-05					Jun-06					Jul-07					Ago-08				
	DIAS	4 a 10	11 a 17	18 a 24	25 a 31	1 a 7	8 a 14	15 a 21	22 a 28	29 a 5	6 a 12	13 a 19	20 a 26	27 a 2	3 a 9	10 a 16	17 a 23	24 a 30			
SEMANAS	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35				
TURNOS		1,2,3	1,2,3	1,2,3	1,2,3	1,2,3	1,2,3	1,2,3	1,2,3	1,2,3	1,2,3	1,2,3	1,2,3	1,2,3	1,2,3	1,2,3	1,2				
DIÁRIA		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2			
SEMANAL		2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3			
MENSAL		2					3					1					2				
FREQUÊNCIA DA MANUTENÇÃO	MÊS	Set-09					Out-10					Nov-11					Dez-12				
	DIAS	31 a 6	7 a 13	14 a 20	21 a 27	28 a 4	5 a 11	12 a 18	19 a 25	26 a 1	2 a 8	9 a 15	16 a 22	23 a 29	30 a 6	7 a 13	14 a 20	21 a 27	28 a 1		
SEMANAS	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53			
TURNOS		1,2,3	1,2,3	1,2,3	1,2,3	1,2,3	1,2,3	1,2,3	1,2,3	1,2,3	1,2,3	1,2,3	1,2,3	1,2,3	1,2,3	1,2,3	1,2,3	1,2,3			
DIÁRIA		3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2		
SEMANAL		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3		
MENSAL		3					1					2					3				
<p>1,2,3 DEVERÁ SER FEITA MANUTENÇÃO NOS 3 TURNOS</p> <p>1 FAZER MANUTENÇÃO NO 1º TURNO</p> <p>2 FAZER MANUTENÇÃO NO 2º TURNO</p> <p>3 FAZER MANUTENÇÃO NO 3º TURNO</p>																					

ANEXO VII – STANDARD OPERATION SHEET (SOS)

 IKEA Industry Paços de Ferreira		<h2>Standard Operation Sheet</h2> 				DATA Aprovação _____	Nº Doc. _____	Nº Revisão _____
FÁBRICA: PFF		ÁREA:	LINHA:	POSTO TRABALHO:	DESIGNAÇÃO DO PRODUTO:	INFORMAÇÃO ADICIONAL:		
MANUTENÇÃO 01º NIVEL		Título do documento					MANUTENÇÃO 1º NIVEL	
Nº	WES	Actividade	Repetição	Tempo de atividade	Tempo de Caminhada	Tempo Acumulado	Pontos Chave	Ilustrações
Notas:			Total	0:00:00			TAKT time:	
AJUDAS EHS / AJUDAS CHAVE::			Layout:					
								

ANEXO VIII – WORK ELEMENT SHEET (WES)

 IKEA Industry Paços de Ferreira		<h1>Work Element Sheet</h1>				Data Aprovação: _____	Nº Doc: _____	Nº Revisão: _____
						Tempo Total: _____	ELABORADO POR: _____	APROVADO POR: _____
FÁBRICA:	ÁREA:	LINHA POSTO TRABALHO:	DESIGNAÇÃO DO PRODUTO:		INFORMAÇÃO ADICIONAL:			
MANUTENÇÃO 1º NÍVEL		Título do documento				<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">MANUTENÇÃO 1º NÍVEL</div>		
Nº	Simbolo	Afividade, O Qué?	Pontos chave, Como?	Porqué?	Ilustrações			
AJUDAS EHS / CHAVE:				LAYOUT:				
								

ANEXO X – TESTE AVALIAÇÃO COMPETÊNCIAS MANUTENÇÃO AUTÓNOMA

AVALIAÇÃO DA FORMAÇÃO (Training Assessment)

Ação: _____
Action: _____

Data: _____ Ref.ª: _____
Date: _____

Objectivo Geral da Ação: _____
General objective: _____

1 Avaliação Teórica de Conhecimentos (Assessment of theoretical knowledge)				
Avaliação da Eficácia da Formação (Effectiveness Training Evaluation)	Perguntas (Questions)	V	F	Pontuação √=15_X=0
	1			
	2			
	3			
	4			
	5			
Peso Relativo (relative weight): 75 Pontos (Points)				
Pontuação (Punctuation)				

2 Avaliação Qualitativa (Qualitative assessment)		Pontuação (Punctuation)
Avaliação da Eficácia da Formação (Effectiveness Training Evaluation)	Interesse Demonstrado (Interest shown)	
	Participação (Participation)	
	Relacionamento Interpessoal (Interpersonal relationship)	
	Pontualidade (Punctuality)	
	Assiduidade (Attendance)	
	Peso Relativo (relative weight): 25 Pontos (Points)	
	Pontuação (Punctuation)	
	Legenda: 5 - Muito Bom, 4 - Bom, 3 - Razoável, 2 - Mau. Legend: 5- Very Good, 4- Good, 3- Reasonable, 2- Bad.	

Pontuação Avaliação da Eficácia:
(Punctuation with all evaluations)

< 80 (NOK)
≥ 80 (OK)

Comentários:
Comments:

Observações: Se os 20% de ineficácia forem atribuídos a processos críticos da formação, esta será considerada igualmente NOK, sendo obrigatório a repetição da formação e a proibição da execução do conteúdo programático da acção da formação.
Comments: If you score 20% of ineffectiveness assigned to critical processes of the training, this will be considered NOK, and must repeat the training and the prohibition of execution of the program content of the training action.

Assinatura/Data Formador: _____
Signature/Date Trainer

Assinatura/Data RH: _____
Signature/Date HR

3 Avaliação da Formação pelo Formando (Training assessment by trainee)					
Avaliação da Eficácia da Formação (Effectiveness Training Evaluation)	Muito Bom (Very Good)	Bom (Good)	Razoável (Reasonable)	Mau (Bad)	
	Formador (Trainer)				
	Domínio do Tema (Topics domain)				
	Relacionamento com os formandos (Relationship with the trainees)				
	Pontualidade/Assiduidade (Punctuality/Attendance)				
	Conteúdo Programático (Contents)				
	Interesse do tema (Themes relevance)				
	Concretização dos objectivos (Objectives completion)				
	Distribuição dos assuntos face ao tempo disponível. (Distribution of subjects over the available time)				
	Meios Pedagógicos (Teaching Material)				
Utilização de equipamentos (Equipments use)					
Documentação distribuída (Handouts)	SIM (YES)		NÃO (NO)		
Global					
Organização geral da acção (General organization of the action)					
Avaliação global da acção (Global assessment of the activity)					

4 Método de avaliação: (Evaluation Method)		Simulacros		
Avaliação da Eficácia da Formação (Effectiveness Training Evaluation)	Exemplos: Hard Skills - Aplicação de Teste Prático, Resultados de Auditorias, Observação On Job com recurso a Check List ou Task Form, 90 dias após a formação. Nota: Obrigatório anexar documento. Soft Skills - Avaliação durante a realização da Avaliação de desempenho [development talk (annual) ou follow-up development talk (semestral)]. Examples: Hard Skills - Application Practice Test, Audits Results, Note On Job using Check List or Task Form, after 90 days of training. Note: Required attach document. Soft Skills - Evaluation during the course of the performance evaluation [development talk (annual) or follow-up development talk (semiannual)].			
	Responsável pela Avaliação: Evaluation Responsible:	EHS	Assinatura: Signature:	
	Data Prevista da Avaliação: Evaluation Date Previous:	90 dias após a Formação	Data Real da Avaliação: Evaluation Date Real:	
	Eficiente/Efficient		SIM (YES)	NÃO (NO)

Assinatura/Data Colaborador: _____, Nº _____
Signature/Number/Date Co-worker

ANEXO XI – NOVO REGISTO MANUTENÇÃO AUTÓNOMA



IKEA Industry
Paços de Ferreira

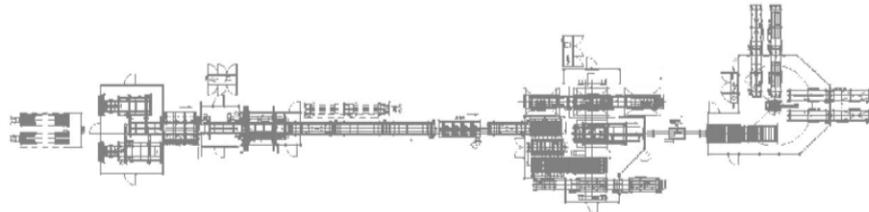
Registo de Manutenção Autónoma

Fábrica: PFF
Área: Assembly and Packing
Linha: 22

EQUIPA RESPONSÁVEL:

TT _____ ZT _____ JT _____

(ASSINATURA TEAM LEADER/FOREMAN)



ALIMENTADOR MANUAL	DLUNI / TECNOMECC / PREO	DANLIST	PÓRTICO / IMPRESSORA MARKEM-MAJE / MÁQUINA FITA-COLA
POSTO 1 - Infeed (IN)	POSTO 2 - Montagem (M)	POSTO3 - Furadora (F)	POSTO 4 - Robot Saída (RO)

Mês	Dia da semana	Equipamento																			
		DLUNI				MÁQUINA COLA FRIA TECNOMECC			MÁQUINA COLA QUENTE PREO			DANLIST		PÓRTICO			L MARKEM-MAJE		MÁQUINA FITA-COLA SDCO SYSTEM		
		Turno (00-084)	Maneja (00-087)	Maneja (00-041)	Observações	Turno (00-084)	Maneja (00-082)	Observações	Turno (00-084)	Observações	Maneja (00-067)	Observações	Maneja (00-046)	Maneja (00-711)	Observações	Maneja (00-046)	Observações	Turno (00-079)	Maneja (00-081)	Observações	
Agosto	1	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201
	2	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201
	3	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201
	4	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201
	5	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201
	6	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201
	7	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201
31	8	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201
	9	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201
	10	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201
	11	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201
	12	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201
	13	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201
	14	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201
32	15	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201
	16	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201
	17	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201
	18	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201
	19	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201
	20	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201
	21	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201
33	22	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201
	23	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201
	24	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201
	25	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201
	26	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201
	27	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201
	28	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201
34	29	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201
	30	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201
	31	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201	301	201

LEGENDA: ■ REALIZADO E RESULTADO OK
■ REALIZADO E RESULTADO NOK - ABRIR WO
■ NÃO REALIZADO

Registo Mensal - todos os meses deve ser reformulada a semana, os dias e a calendarização dos turnos/equipa

ANEXO XII – CHEKLIST AUDITORIA MANUTENÇÃO AUTÓNOMA

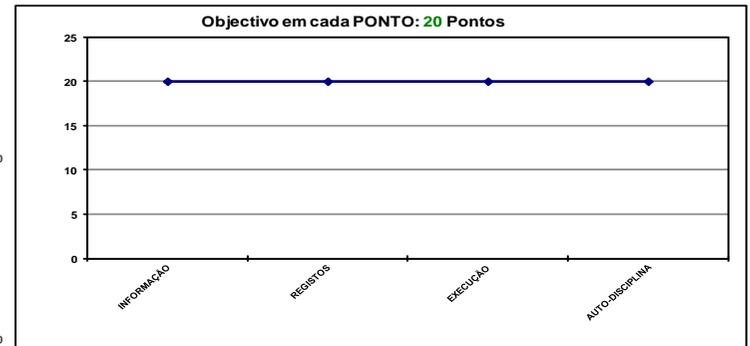
		AVALIAÇÃO					
N.º	CRITÉRIO	OPORTUNIDADES DE MELHORIA	Muito Fraco	Fraco	Médio	Bom	Excelente
			1	2	3	4	5
Informação	1	Os operadores têm conhecimento do sistema de lote e qual o seu objectivo?					
	2	Os operadores têm conhecimento de como devem reportar anomalias?					
	3	Existe material disponível para a realização das etapas de MA?					
	4	O material de MA está no devido local e identificados?					
	5	Os registos encontram-se preenchidos conforme Standard?					
Registos	6	O quadro de registos de MA encontram-se actualizados?					
	7	Os Foremen / Line Leander tem conhecimento como se registam a MA?					
	8	Estão a ser registadas as anomalias que dão origem a OT's ?					
	9	Os operadores sabem a onde se encontram as WES / ITM?					
	10	As WES /ITM de MA fornecidas aos operadores estão actualizadas como a última versão?					
Execução	11	O operador esta formado para a realização de tarefas de MA?					
	12	Verificar o estado geral da linha, apresenta evidência que as tarefas de MA estão a ser realizadas?					
	13	O operador tem conhecimento de quais os EPI'S e / ou sistemas de lote que deve usar nas tarefas de MA?					
	14	Escolher um equipamento aleatório, e em conjunto com o operador, avaliar se a mesma se encontra a ser realizada correctamente?					
	15	Validar o tempo e o n.º de operadores que se encontram nas tarefas de MA está de acordo com o definido?					
AUTODISCIPLINA	16	A área dispõe de um plano de acções atualizado para a resolução das constatações levantadas em auditorias MA?					
	17	As constatações de auditorias anteriores, que foram colocadas no plano de acções, foram corrigidas?					
	18	As constatações de auditorias anteriores, que foram colocadas no plano de acções, foram realizadas dentro dos prazos estabelecidos?					
	19	Todos os colaboradores da área de trabalho se encontram envolvidos nas atividades MA?					
	20	As anomalias estão a ser correctamente abertas e identificadas no Tekla?					

Todos os temas com avaliação inferior a 4 deverão ser:

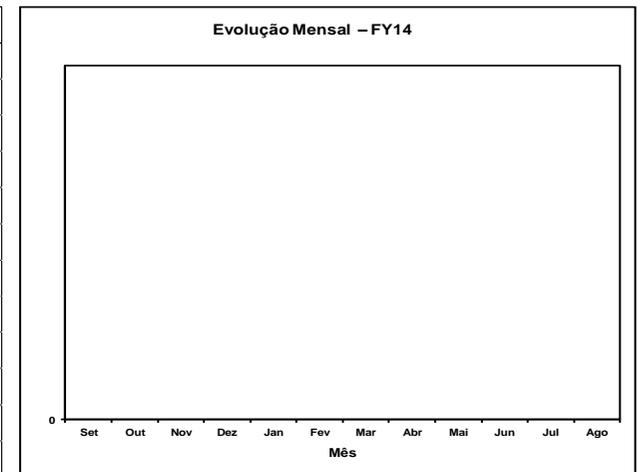
- Resolvidos de imediato, quando a sua resolução depender da equipa auditada.
- Alvo de abertura de PAC no RISI, quando a sua resolução depender de terceiros.

Titular do posto :	Posto:	Data:
Responsável MA da área :	Secção:	Auditor:

CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO	AVALIAÇÃO ANTERIOR	AVALIAÇÃO ATUAL
0 a 49 = Muito Fraco		
50 a 69 = Fraco		
70 a 79 = Médio		
80 a 89 = Bom		
90 a 100 = Excelente		



FY	FY14
Set	
Out	
Nov	
Dez	
Jan	
Fev	
Mar	
Abr	
Mai	
Jun	
Jul	
Ago	



ANEXO XIII– VALORES DE MTBF, MDT, OEE E IC REGISTRADOS DE NOVEMBRO A JUNHO

Área	Linha	MTBF (min)	Criticidade MTBF	MDT (min)	Criticidade MDT	OEE (%)	Criticidade OEE	IC
Cutting	950088	349.5	3.66	36.7	2.22	50.6	2.32	8.20
	950087	1233.1	2.00	36.2	2.20	55.6	2.02	6.22
Profiling	948005.4	1500.55	1.86	52.8	2.99	55.1	2.05	6.90
	948005.3	683.6	3.03	31.2	1.87	57.9	1.73	6,63
	231133	3999.2	0.57	33.3	2.06	23.2	3.99	6,62
	948001	494.5	3.38	25.8	0.97	54.9	2.06	6.41
	948002	1600.2	1.81	45.4	2.64	58.5	1.64	6.09
	948003.1	525.7	3.33	24.9	0.84	59.2	1.55	5.72
	948005.1	944.3	2.54	47.3	2.73	71.2	0.00	5.27
	948006	1298.1	1.97	26.8	1.13	58.4	1.66	4.76
	948004.1	949.6	2.53	27.0	1.16	62.7	1.04	4.73
	948003.2	1194.9	2.07	19.4	0.05	61.1	1.27	3.39
	231134.1 (CNC)	2141.7	1.53	29.3	1.55	70.4	0.07	3,15
	231134.3 (CNC)	5100.9	0.00	36.9	2.23	66.6	0.54	2.77
	231134.2 (CNC)	3842.2	0.65	22.9	0.56	64.6	0.80	2.01
EB&D	231132	349.9	3.66	29.1	1.52	48.4	2.45	7.63

	231130	166.0	4.00	23.4	0.62	48.6	2.43	7.05
	231131	780.6	2.85	30.5	1.75	56.6	1.92	6.52
Lacquering	948013	1032.8	2.38	74.2	4.00	41.5	2.85	9.23
	231140	544.2	3.29	38.0	2.29	54.1	2.11	7.69
	948016	289.4	3.77	25.1	0.87	48.1	2.46	7.10
	948014	340.5	3.67	21.7	0.39	49.4	2.39	6.45
	948015	323.4	3.71	26.8	1.14	62.2	1.12	5.97
	231141	963.7	2.51	20.8	0.25	49.2	2.40	5.16
Assembly & Packing	948022	485.8	3.40	23.0	0.57	51.4	2,27	6.24
	948025	968.2	2.50	21.2	0.31	67.0	0,50	3.31
Média		1235	2.56	32	1.50	56	1.76	5.82
Máximo		5101	0.00	74	4.00	71	0.00	9.23
Mínimo		166	4.00	19	0.05	23	3.99	2.01

ANEXO XIV –NÍVEL GLOBAL DE VIBRAÇÕES - SEVERIDADE VIBRATÓRIA (ISO 10816) E SEVERIDADE “ENVELOPE”

mm.s-1 RMS	CLASSE I	CLASSE II	CLASSE III	CLASSE IV
0,18 0,7	BOM	BOM	BOM	BOM
1,12 1,8	ACEITÁVEL	ACEITÁVEL	BOM	BOM
2,8 4,5	SEVERO	SEVERO	ACEITÁVEL	ACEITÁVEL
7.1	CRÍTICO	CRÍTICO	SEVERO	SEVERO
18 45			CRÍTICO	CRÍTICO

Enveloping Severty	Shaft Diameter & Speed		
	Dia. between 200 & 500 mm and Speed <500 rpm	Dia. between 50 & 300 mm and Speed between 500 & 1800 rpm	Dia. between 20 & 150 mm and Speed is either 1800 or 3600 rpm
0.1	GOOD	GOOD	GOOD
0.5	SATISFACTORY		
0.75	UNSATISFACTORY (ALERT)	SATISFACTORY	SATISFACTORY
1		UNSATISFACTORY (ALERT)	UNSATISFACTORY (ALERT)
2	UNACCEPTABLE (DANGER)	UNACCEPTABLE (DANGER)	UNSATISFACTORY (ALERT)
4		UNACCEPTABLE (DANGER)	UNACCEPTABLE (DANGER)
10			UNACCEPTABLE (DANGER)

ANEXO XV – ANÁLISE DE VIBRAÇÕES – RESULTADOS E RECOMENDAÇÕES

Área	Linha	Motor	Anomalia/Avaria	Estado Atual	Recomendações
<i>Cutting</i>	950087	F3V2	-	Ok	-
	950087	Motor serra longitudinal	-	Ok	-
<i>Profiling</i>	948006	F1V1	Valores elevados em aceleração nas chumaceiras do ventilador.	Vigilância 3	Substituir rolamentos do ventilador.
	948003.1/948005.1	F1V2	-	Ok	-
	948003.1/948005.1	F1V3	Desalinhamento do motor.	Vigilância 1	Verificar tensionamento e alinhar polias.
	948005.1	F2V1	Desalinhamento do motor.	Vigilância 3	Verificar tensionamento e alinhar polias.
	948003.2	F2V2	Desalinhamento do motor.	Vigilância 3	Verificar tensionamento e alinhar polias.
	948005.4	F2V4	-	Ok	-
	948001	F3V1	Valores elevados em aceleração nas chumaceiras do ventilador.	Vigilância 3	Lubrificar os rolamentos do ventilador.
	231134.1/231134.3	F4V1	Valores elevados em envelope no motor.	Vigilância 3	Substituir rolamentos do motor.
	948005.2	F4V3	-	Ok	-
	948003.2/231134.4	F4V4	-	Ok	-

	948005.4	F5V4	-	Ok	-
	948002	F6V1	Valores elevados em aceleração nas chumaceiras do ventilador.	Vigilância 3	Lubrificar os rolamentos do ventilador.
	231134.3	Bomba de vácuo	-	Ok	-
	948006	Motor fresadora	-	Ok	-
	948003.1	Motor Weinig	-	Ok	-
	948001	Moto-redutor transporte	-	Ok	-
<i>EB&D</i>	231130	F8V1	-	Ok	-
	231130	F8V2	-	Ok	-
	231132	F9V2	-	Ok	-
	231130	F10V1	Valores elevados em velocidade.	Vigilância 3	Limpeza e eventual equilibragem da turbina.
	231131	F10V2	-	Ok	-
	231131	F10V3	-	Ok	-
<i>Lacquering</i>	948004.1	F2V3	-	Ok	-
	948004.1	F3V3	Valores elevados em aceleração nas chumaceiras do ventilador.	Vigilância 3	Substituir rolamentos do ventilador.
	948013	F5V1	-	Ok	-

	948014	F5V2	Desalinhamento do motor.	Vigilância 3	Verificar tensionamento e alinhar polias.
	948015	F5V3	Desalinhamento do motor.	Vigilância 3	Verificar tensionamento e alinhar polias.
	948016	F6V3	-	Ok	-
	231140	F9V1	-	Ok	-
	231140	F9V3	-	Ok	--
	948014	Box	-	Ok	-
	948015	Box	Valores elevados em velocidade.	Vigilância 3	Limpeza e eventual equilibragem da turbina.
	948016	Box	-	Ok	-
	948014	Hiper filtro	-	Ok	-
	948014	Bomba de vácuo entrada	-	Ok	-
	948014	Bomba de vácuo saída	-	Ok	-
Toda a fábrica	-	Ventilador de transporte	-	Ok	-
		Ventilador de transporte	-	Ok	-
		<i>Purification Plant</i>	Valores elevados em velocidade.	Vigilância 2	Limpeza e eventual equilibragem da turbina.