

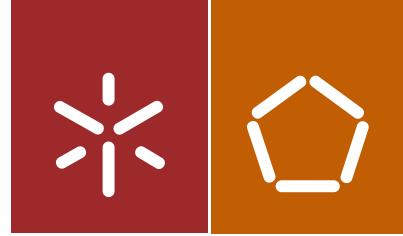


Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Marcelo Albuquerque de Oliveira

Sistema de gestão da manutenção baseada
no grau de maturidade da organização no
âmbito da manutenção

Marcelo Albuquerque de Oliveira Sistema de gestão da manutenção baseada no grau de maturidade da organização no âmbito da manutenção



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Marcelo Albuquerque de Oliveira

Sistema de gestão da manutenção baseada
no grau de maturidade da organização no
âmbito da manutenção

Tese de Doutoramento
Engenharia Industrial e Sistemas

Trabalho efetuado sob a orientação do
Professora Doutora Isabel da Silva Lopes

DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Declaro ter atuado com integridade na elaboração da presente tese. Confirmo que em todo o trabalho conducente à sua elaboração não recorri à prática de plágio ou a qualquer forma de falsificação de resultados.

Mais declaro que tomei conhecimento integral do Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

Universidade do Minho, 06 de Março de 2017

Nome completo: Marcelo Albuquerque de Oliveira

Assinatura: 

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar gostaria de agradecer a orientação da Professora Isabel Lopes que, com sua experiência, possibilitou a concretização deste trabalho. Os ensinamentos e conselhos foram fundamentais nas diversas etapas deste trabalho.

Agradeço também ao Departamento de Produção e Sistemas, a todo o pessoal administrativo e aos professores que, ao longo desta etapa, compartilharam suas experiências, conhecimentos e apoio, em especial à Alexandra, Carla, Verônica, prof. Ismael, profa. Senhorinha e profa. Madalena.

Aos meus pais, Mariolino e Ester, pelo exemplo de vida e por tudo que fizeram para que eu pudesse dar mais esse passo. Se pude ir um pouco mais além foi porque vocês, gigantes, me elevaram.

Ao meu padrinho Rafael e ao meu tio Geraldo (In memoriam), fontes de inspiração, pessoas a quem também muito agradeço pelos ensinamentos que me transmitiram.

Aos amigos Wagner Aguiar (In memorian), Kléber Santiago e Fábio Medeiros.

Aos meus filhos, Oliver e Mário, pela paciência e entendimento pelos momentos de ausência.

À minha esposa, Bruna, pela confiança, apoio e retaguarda em todos os momentos, sobretudo naqueles onde a motivação e esperança esvaiam-se. Sem dúvida nenhuma fostes o pilar mais sólido que tive durante toda essa caminhada.

RESUMO

O presente trabalho incide na proposta de um modelo de maturidade que suporte as decisões das organizações no âmbito da gestão da manutenção, promovendo assim a sua melhoria contínua.

O modelo baseia-se na análise do estado atual das áreas de manutenção das organizações e, mediante a avaliação das práticas em distintas classes que estão relacionadas com as atividades de manutenção, permite obter uma classificação segundo os níveis de maturidade propostos.

Com base nas respostas a um inquérito envolvendo diversas organizações, pesquisas de campo, na análise crítica dos modelos de maturidades existentes, foi possível fundamentar e validar as classes definidas para o modelo.

O modelo foi validado por meio da realização de casos de estudo envolvendo duas empresas de distintos setores industriais, em dois países diferentes.

A partir da aplicação do modelo, será possível desenvolver uma estratégia para que as áreas de manutenção alcancem os níveis imediatamente superiores da escala de maturidade, com o objetivo de alcançar e manter níveis de desempenho reconhecidos como de excelência ou classe mundial.

Palavras-Chave:

Avaliação do Desempenho da Manutenção; Gestão da Manutenção; Modelos de Maturidade

ABSTRACT

This work focuses on the proposal for a maturity model that supports the decisions of the organizations in the management of maintenance, thus fostering its continuous improvement.

The model is based on the analysis of the status of the maintenance areas of organizations and, by evaluating the practices in different classes that are related to maintenance activities, allows for a classification according to the proposed maturity levels.

Based on responses from a survey involving various organizations, field research, critical analysis of existing maturity models and statistical tests, it was possible to support and validate the classes defined for the model.

The model was validated by conducting case studies involving two companies from distinct industrial sectors, in two different countries.

From the application of the model, maintenance areas can develop a strategy to reach the immediately upper levels of the maturity scale, in order to achieve and maintain performance levels recognized as excellent or World-class.

KEYWORDS

Maintenance Management; Maintenance Performance Assessment; Maturity Models

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS.....	iii
RESUMO.....	v
ABSTRACT.....	vii
ÍNDICE	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
ÍNDICE DE TABELAS	xv
LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS	xvii
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Motivação	1
1.2 Objetivos.....	2
1.3 Metodologia de investigação	3
1.4 Organização da dissertação	4
2. A GESTÃO DA MANUTENÇÃO	7
2.1 A Manutenção.....	7
2.2 Gestão da manutenção.....	8
2.3 Estratégias e Tipos de manutenção	9
2.4 Os sistemas de gestão da manutenção informatizados	13
3. METODOLOGIAS, FERRAMENTAS E TÉCNICAS DE ANÁLISE E PREVENÇÃO DE FALHAS.....	15
3.1 Metodologias de suporte à gestão da manutenção	15
3.1.1 Manutenção Produtiva Total.....	15
3.1.2 Manutenção Centrada na Fiabilidade	21
3.1.3 Análise da Fiabilidade.....	33
3.1.3.1 Conceito de falha.....	35
3.1.3.2 Medidas de Fiabilidade	37
3.1.3.3 Fiabilidade de Sistemas	42
3.1.4 Manutenção Baseada na Condição (CBM).....	45

3.1.5	Engenharia de Manutenção	53
3.1.6	Lean Maintenance	54
3.2 Técnicas e Ferramentas.....		58
3.2.1	Os Cinco S (5S)	59
3.2.2	Análise dos Modos de Falha e Efeitos.....	62
3.2.3	Análise da Causa Raiz	69
3.2.4	Árvore de Falhas.....	72
3.2.5	As Oito Disciplinas - 8D's.....	78
4. AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO NA MANUTENÇÃO.....		85
 4.1 Balanced Scorecard.....		85
 4.2 Maintenance Scorecard		88
 4.3 Seleção e uso de indicadores de desempenho na manutenção.....		92
4.3.1	Indicadores de desempenho de máquina	96
4.3.2	Indicadores de desempenho financeiro.....	98
4.3.3	Indicadores de capacidade produtiva.....	99
5. OS MODELOS DE MATURIDADE.....		101
 5.1 Modelos de maturidade relativos à qualidade		102
 5.2 Modelos de maturidade relativos à projetos de tecnologia da informação		104
 5.3 Modelos de maturidade relativos à gestão de pessoas.....		105
 5.4 Modelos de maturidade relativos à gestão da manutenção.....		107
 5.5 Análise crítica dos modelos de maturidade no âmbito da manutenção		112
6. ESTUDO EXPLORATÓRIO.....		115
 6.1 O Questionário.....		115
 6.2 Caracterização da amostra		117
 6.3 Análise de resultados		120

6.3.1	Gestão da Manutenção.....	120
6.3.2	Medidas de desempenho da manutenção	125
6.3.3	Procedimentos e planeamento da manutenção.....	127
6.3.4	Equipa de manutenção	131
6.4	Análise comparativa.....	133
6.4.1	Análise comparativa das práticas de manutenção nas empresas nacionais e internacionais.....	133
6.4.2	Análise comparativa das práticas de manutenção nas empresas que adotam e não adotam o TPM	144
6.4.3	Análise comparativa das práticas de manutenção nas empresas que adotam e não adotam um CMMS.....	148
7.	DESENVOLVIMENTO DO MODELO DE MATURIDADE....	151
7.1	As Classes do Modelo.....	151
7.1.1	Cultura Organizacional.....	151
7.1.2	Política de Manutenção	153
7.1.3	Gestão de Desempenho	155
7.1.4	Análise de Falhas	159
7.1.5	Planeamento e Programação das Atividades de Manutenção Preventiva	161
7.1.6	CMMS.....	163
7.1.7	Gestão de Estoques	167
7.1.8	Normalização e Controlo de Documentos.....	169
7.1.9	Gestão de Recursos Humanos.....	171
7.1.10	Gestão de Resultados (Custos e Qualidade da Manutenção)	173
7.2	O Modelo	176
8.	CASOS DE ESTUDO.....	181
8.1	Caso de estudo realizado numa empresa do setor têxtil	181
8.2	Caso de estudo realizado numa empresa do setor eletroeletrónico	
		189
9.	CONCLUSÃO	195
BIBLIOGRAFIA		199

APÊNDICE I.....	215
ANEXO I.....	223
ANEXO II.....	224
ANEXO III.....	229
ANEXO IV	233
ANEXO V	236
ANEXO VI	250

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Proposta de modelo para a gestão da manutenção de classe mundial.....	11
Figura 2 - Manutenção x Objetivo	12
Figura 3 - Pilares da Manutenção Produtiva Total - TPM	17
Figura 4 - Resultados esperados com o TPM	21
Figura 5 - As sete questões básicas do RCM.....	23
Figura 6 - Classificação de falhas segundo RCM.....	25
Figura 7 - Diagrama lógico de seleção RCM.....	26
Figura 8 - Diagrama de decisão RCM.....	27
Figura 9 - Classificação de atividades	28
Figura 10 - Resultados esperados com o RCM.....	33
Figura 11 - Resultados esperados com o RCM.....	36
Figura 12 - Natureza dos padrões de falhas	37
Figura 13 - Medidas de fiabilidade para distribuições mais comuns	41
Figura 14 - Configurações típicas de RDB's usando o software Blocksim.....	44
Figura 15 - Determinação da fiabilidade do um processo de manufatura usando o software Blocksim	45
Figura 16 - Otimizando a fiabilidade do processo de manufatura usando o software Blocksim	45
Figura 17 - A Curva P-F	49
Figura 18 - Categorias de técnicas de monitorização	50
Figura 19 - Técnicas de monitorização e seus desdobramentos.....	52
Figura 20 - Vantagens e desvantagens da CBM	53
Figura 21 - Auditoria Lean Maintenance.....	55
Figura 22 - Práticas Lean Maintenance	56
Figura 23 - Soluções Lean Maintenance	57
Figura 24 - Pontos comuns entre Lean Maintenance e World Class Maintenance	58
Figura 25 - Aplicação prática do Senso de Organização: Seiri.....	60
Figura 26 - Aplicação dos 6S's e a eliminação do desperdício	62
Figura 27 - Sequência lógica para aplicação da ferramenta FMEcA usando Ciclo PDCA	66
Figura 28 - Exemplo prático da aplicação de uma FMEA na empresa do setor eletrónico.....	67
Figura 29 - Etapas para aplicação da RCA.....	70
Figura 30 - Soluções RCA	71
Figura 31 - Símbologia para construção de uma FTA.....	73
Figura 32 - Propriedades básicas da álgebra de Boole.....	74
Figura 33 - Exemplo prático de aplicação de uma FTA.....	74
Figura 34 - Construção de uma FTA usando Blocksim.....	77
Figura 35 - Sequência básica de aplicação do 8D	79
Figura 36 - Exemplo prático da aplicação do 8D em empresa do setor eletrotrônico.	82
Figura 37 - Quadro perspectivas do BSC	86
Figura 38 - Adaptação do BSC à manutenção.....	87
Figura 39 - Hierarquia de objetivos.....	89
Figura 40 - Modelo do <i>maintenance scorecard</i>	90
Figura 41 - Proposta de modelo de indicadores de desempenho para gestão da manutenção	94
Figura 42 - Etapas de introdução de melhorias na manutenção	95
Figura 43 - Escala de tempo para definição de indicadores associados a ativos.	98
Figura 44 - Escala de tempo para definição de indicadores de capacidade.	100
Figura 45 - Níveis de maturidade do modelo CMM	104
Figura 46 - A Pirâmide da excelência.....	109
Figura 47 - Polo Industrial de Manaus: Divisão por setores.	117
Figura 48 - Setores que fizeram parte da pesquisa.....	118
Figura 49 - Respondentes do inquérito e função.....	119
Figura 50 - Número de colaboradores	119

Figura 51 - Número de equipamentos sob a responsabilidade da área de manutenção.	120
Figura 52 - Manutenção como fator estratégico para as empresas.	120
Figura 53 - Práticas de subcontratação das empresas.	121
Figura 54 - Tipos de serviços subcontratados pelas empresas.	122
Figura 55 - Serviços realizados pelos fabricantes dos equipamentos.	122
Figura 56 - Número de membros da equipa de manutenção da empresa.	123
Figura 57 - Tempo dedicado a atividades preventivas.	123
Figura 58 - Metodologias para auxiliar a gestão da manutenção.	124
Figura 59 - Procedimentos escritos para realização de ações preventivas	129
Figura 60 - Periocidade de revisão das atividades de manutenção preventiva.....	129
Figura 61 - Recurso(s) de apoio à gestão da manutenção.	130
Figura 62 - Formação superior na equipa de manutenção.....	132
Figura 63 - Classe Cultura Organizacional.	153
Figura 64 - Classe Política de Manutenção.	155
Figura 65 - Classe Gestão de Desempenho.	159
Figura 66 - Classe Análise de Falhas.	161
Figura 67 - Classe Planeamento e Programação das Atividades de Manutenção Preventiva.	163
Figura 68 - Classe CMMS.	167
Figura 69 - Classe Gestão de Estoques (Compras e Inventário).	169
Figura 70 - Classe Normalização e Controlo dos Documentos.	171
Figura 71 - Classe Gestão de Recursos Humanos.	173
Figura 72 - Classe Gestão de Resultados (Custos e Qualidade da Manutenção).	175
Figura 73 - Indústria setor têxtil: Nível de Maturidade.	188
Figura 74 - Indústria setor eletroeletrónico: Nível de Maturidade.	194

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Comparação entre vários pilares do TPM	17
Tabela 2 - Tipo de manutenção por comportamento da falha: exemplos de aplicação.	29
Tabela 3 - Exemplo de formulário de informação RCM.	30
Tabela 4 - Exemplo de formulário de decisão RCM.	31
Tabela 5 - Falhas típicas associadas às etapas da Curva da Banheira.	36
Tabela 6 - Comparação entre FMEA e FTA: Aplicação.	77
Tabela 7 - Comparação entre FMEA e FTA: Uso.	78
Tabela 8 - Planilha MSC.	91
Tabela 9 - Exemplo MSC: Perspetiva da produtividade.	91
Tabela 10 - Matriz de maturidade da gestão da qualidade.	102
Tabela 11 - Modelo de maturidade em melhoria contínua.	103
Tabela 12 - Modelo de maturidade em gestão de pessoas: P-CMM.....	106
Tabela 13 - Grelha de maturidade organizacional da manutenção.	107
Tabela 14 - Grelha de maturidade para gestão de ativos.....	109
Tabela 15 - Técnicas e ferramentas para o processo de gestão de ativos.	110
Tabela 16 - Grelha de maturidade para gestão de ativos: ISO.....	111
Tabela 17 - Manutenção como factor estratégico vs origem.....	121
Tabela 18 - Frequência de utilização de técnicas para análise de falhas.	124
Tabela 19 - Lista de potenciais dificuldades enfrentadas pela área de manutenção.	125
Tabela 20 - Frequência de utilização de Indicadores de desempenho.	126
Tabela 21 - Desempenho da manutenção.	127
Tabela 22 - Periodicidade de planeamento das atividades de manutenção.	128
Tabela 23 - Desempenho global da manutenção.	128
Tabela 24 - Frequência de utilização de funcionalidades de um CMMS.....	131
Tabela 25 - Formação da equipa de manutenção.	133
Tabela 26 - Origem vs percepção da manutenção.	134
Tabela 27 - Adoção de Indicadores de desempenho vs Origem.	135
Tabela 28 - Divulgação de Indicadores de desempenho vs Origem.	135
Tabela 29 - Interpretação de Indicadores de desempenho vs Origem.	136
Tabela 30 - Classificações: Metodologia/ferramenta análise de falhas vs Origem.	137
Tabela 31 - Origem vs Manutenção preventiva.	138
Tabela 32 - Origem vs Adoção do TPM.	139
Tabela 33 - Origem vs Adoção CMMS.	139
Tabela 34 - Classificações: Funcionalidades do CMMS vs Origem.	140
Tabela 35 - Origem vs Adoção de Plano de treino.	141
Tabela 36 - Classificações: Origem vs Formações.	142
Tabela 37 - Adoção de Indicadores de desempenho vs Adoção TPM.	144
Tabela 38 - Manutenção preventiva vs Adoção TPM.	145
Tabela 39 - Adoção CMMS vs Adoção TPM.	145
Tabela 40 - Adoção procedimentos escritos vs Adoção TPM.	146
Tabela 41 - Adoção plano de treino vs Adoção TPM.	146
Tabela 42 - Tipos de treino vs Adoção TPM	147
Tabela 43 - Adoção CMMS vs Adoção KPI	148
Tabela 44 - Adoção CMMS vs Adoção manutenção preventiva.	149
Tabela 45 - Adoção CMMS vs Procedimentos para manutenção preventiva.	150
Tabela 46 - Proposta de modelo de maturidade para gestão da manutenção.	177
Tabela 47 - Problemas identificados na empresa do setor têxtil.	182
Tabela 48 - Modelo de Maturidade: Estado atual da empresa do setor têxtil.	186
Tabela 49 - Soluções propostas para a empresa do setor têxtil.	186
Tabela 50 - Modelo de Maturidade: Estado futuro da empresa do setor têxtil.	187

Tabela 51 - Problemas identificados na empresa do setor eletroeletrônico.	190
Tabela 52 - Modelo de Maturidade: Estado atual da empresa do setor eletroeletrônico.	192
Tabela 53 - Soluções propostas para empresa do setor eletroeletrônico.	192
Tabela 54 - Modelo de Maturidade: Estado futuro para empresa do setor eletroeletrônico.	193
Tabela 55 - Conceitos associados à RBM.	223
Tabela 56 - Monitoração de partículas.	224
Tabela 57 - Monitoração de temperatura.	224
Tabela 58 - Monitoração dinâmica.	225
Tabela 59 - Monitoramento químico.	226
Tabela 60 - Monitoramento efeitos físicos.	227
Tabela 61 - Monitoração de efeitos elétricos.	228
Tabela 62 - Soluções LCM.	229
Tabela 63 - Sumário de ferramentas aplicáveis à RCA.	233
Tabela 64 - Elementos-chave de autoavaliação entre elementos-chave e níveis de maturidade.	236
Tabela 65 - Autoavaliação dos elementos detalhados da seção 4: Gestão para o sucesso sustentado de uma organização.	238
Tabela 66 - Autoavaliação dos elementos detalhados da seção 5: Estratégia e política.	239
Tabela 67 - Autoavaliação dos elementos detalhados da seção 6: Gestão de recursos.	241
Tabela 68 - Autoavaliação dos elementos detalhados da seção 7: Gestão de processos.	244
Tabela 69 - Autoavaliação dos elementos detalhados da seção 8: Monitoramento, medição, análise e revisão.	245
Tabela 70 - Autoavaliação dos elementos detalhados da seção 9: Melhoria, inovação e aprendizagem.	248
Tabela 71 - Grelha de maturidade organizacional da manutenção proposta por Wireman.	250
Tabela 72 - Grelha de maturidade da manutenção proposta por Cambell & Reyes-Picknell.	252
Tabela 73 - Grelha de maturidade organizacional da manutenção proposta por Cholasuke <i>et al.</i>	254

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS

AHP – *Analytic Hierarchy Process*
AMMM – *Asset Maintenance Maturity Model*
ANP – *Analytical Network Process*
BSC – *Balanced Scorecard*
BSI – *British Standard Institute*
CBM – *Condition Based Maintenance*
CMM – *Capability Maturity Model*
CMMS - *Computerized Maintenance Management System*
COM – *Costs of Maintenance*
COQ – *Costs of Quality*
EAM – *Enterprise Asset Management*
FMEA – *Failure Mode and Effect Analysis*
FMECA – *Failure Mode, Effect and Criticality Analysis*
FTA – *Fault Tree Analysis*
IAM – *Institute Asset Management*
IT – *Information Technology*
JIT – *Just-in-Time*
KPI – *Key Performance Indicator*
LCC – *Life Cycle Cost*
LCM – *Lean Centered Maintenance*
MPI – *Maintenance Performance Indicator*
MPM – *Maintenance Performance Measurement*
MSC – *Maintenance Scorecard*
MTBF – *Mean Time Between Failures*
MTTF – *Mean Time To Fail*
MTTR – *Mean Time To Repair*
NPR – Número de Prioridade de Risco
OEE – *Overall Equipment Effectiveness*
OPM – Otimização de Planos de Manutenção
OPM3 – *Organizational Project Management Maturity Model*
PAM – *PAS 55 Assessment Methodology*
P-CMM - *People Capability Maturity Model*
PDCA – *Plan, Do, Act, Analysis*
PdM – *Predictive Maintenance*
PM – *Preventive Maintenance*
PMI – *Project Management Institute*
PMO – *Preventive Maintenance Optimization*
RBD – *Reliability Block Diagram*
RBM – *Risk Based Maintenance*
RCA – *Root Cause Analysis*
RCFA – *Root Cause Failure Analysis*
RCM – *Reliability Centered Maintenance*
ROI – *Return of Investment*
SMD – *Surface Mounting Device*
SCADA - *Supervisory Control and Data Acquisition*
SEI – *Software Engineering Institute*
TI – *Tecnologia da Informação*
TPM – *Manutenção Produtiva Total (Total Productive Maintenance)*
VDM – *Value-Driven Maintenance*
WCM – *World Class Maintenance*

1. INTRODUÇÃO

1.1 Motivação

Em épocas passadas o desenvolvimento do produto e a produção foram as prioridades dominantes no meio industrial, tendo a operação e a manutenção de equipamentos um lugar secundário nas prioridades e estratégias das empresas. Algum tempo depois, tanto a operação como a manutenção passaram a ocupar um papel de destaque. Hoje em dia a manutenção tem uma função estratégica dentro das organizações, pois é responsável por garantir a disponibilidade dos equipamentos e instalações. Tem como objetivo auxiliar o processo produtivo conferindo fiabilidade e segurança a custos adequados.

A gestão da manutenção socorre-se de algumas ferramentas e técnicas para melhorar a eficiência e minimizar o impacto das falhas dos equipamentos, tais como: a Manutenção Centrada na Fiabilidade (RCM), a Manutenção Produtiva Total (TPM), a Análise dos Modos de Falha e Efeitos (FMEA).

O grau e a frequência de utilização de técnicas e ferramentas de gestão muitas das vezes estão relacionados com a formação das equipas técnicas e, principalmente, com o grau de maturidade das empresas na gestão eficaz da manutenção.

A identificação do grau de maturidade, relativo à manutenção, leva-nos a um melhor planeamento das ações para adequação das estratégias de gestão proondo, assim, ferramentas informatizadas, indicadores de desempenho, técnicas de análise e metodologias de gestão mais apropriadas, oferecendo um horizonte de melhorias necessárias para uma boa evolução e o consequente progresso no nível de maturidade da função manutenção da empresa.

Segundo Munk (1999), nas organizações, transpor as tradicionais barreiras interdepartamentais facilita o funcionamento da estrutura funcional, melhorando a comunicação, a coordenação e integração e, sobretudo, impondo um tempo de reação mais curto. As equipas constituem um poderoso mecanismo informal de integração dentro das estruturas organizacionais. Para as pessoas, as equipas trazem mais envolvimento social e emocional, mais participação nas decisões, maior penetração nos assuntos da empresa, maior compromisso e, consequentemente, maior motivação.

Entender os aspetos pelos quais se define o grau de maturidade de uma organização pode não ser uma tarefa fácil. Procurar-se-á, então, defender o argumento de que o grau de maturidade associado aos processos de gestão da manutenção de uma empresa está estreitamente relacionado com a preparação e o grau de conhecimento da equipa de manutenção e utilização de ferramentas e sistemas de controlo que determinada organização possui.

Clarke e Garside (1997) propõem um modelo que combina cinco aspetos para a gestão da manutenção: *compromisso, cultural, comunicação, ferramentas e metodologias e gestão de conflitos*. Os aspetos de orientação para o modelo de gestão mais adequado ainda carecem de investigação e recomendação.

E é neste contexto, ou seja, na busca de um modelo para identificar o grau de maturidade e o nível de desempenho de uma organização no âmbito da manutenção, que se formulam as questões que se apresentam a seguir com o objetivo de caracterizar o desempenho da organização:

1. De que forma pode ser avaliado o nível de maturidade de uma organização no âmbito da manutenção?
2. Como medir o seu nível de desempenho e propor estratégias a seguir para atingir níveis superiores de desempenho?

Com efeito, a proposta de um modelo para a gestão da manutenção, levando em consideração a competência das equipas técnicas e o grau de maturidade da organização no âmbito da manutenção são questões que precisam ser analisadas no ambiente corporativo.

Os aspetos relacionados com níveis de maturidade têm sido bastante abordados em vários segmentos do conhecimento e a caracterização prática de suas conclusões tem contribuído para o alcance de melhores resultados nas organizações de um modo geral.

1.2 Objetivos

O objetivo central deste trabalho é propor um modelo para a gestão da manutenção levando em consideração o grau de maturidade da organização no âmbito da manutenção, de modo a orientar para a aplicação das técnicas de manutenção mais adequadas e, assim, promover a melhoria da função manutenção da organização. O modelo de gestão da manutenção visa identificar as etapas necessárias para uma

gestão de alto nível através da utilização e aplicação de conceitos e práticas mais adequadas ao perfil identificado.

De uma forma mais detalhada, com este trabalho pretende-se:

- I. Desenvolver e aplicar um questionário voltado para a área de manutenção, com o objetivo de identificar práticas de manutenção;
- II. Propor um modelo que identifique o grau de maturidade da área da manutenção de uma empresa industrial, abrangendo todos os fatores relevantes na gestão da manutenção;
- III. Propor uma escala evolutiva que oriente na aplicação de metodologias ou práticas de gestão mais apropriadas;
- IV. Promover uma visão holística da função manutenção;
- V. Auxiliar a empresa no caminho de excelência operacional da função manutenção, segundo o conceito de manutenção de classe mundial.

Conforme destacado por Fernandez *et al.* (2003), a competitividade obrigou as empresas a melhorar o desempenho global do negócio e, na área de manutenção, muito se tem escrito sobre as metodologias necessárias para alcançar este objetivo, tais como a Manutenção Produtiva Total e a Manutenção Centrada na Fiabilidade, a fim de aumentar a disponibilidade dos equipamentos e capacitar as unidades industriais na busca da manutenção de classe mundial (ou *World Class Maintenance - WCM*).

A eficiência da função manutenção, numa unidade industrial, não depende apenas dos equipamentos envolvidos, da formação do pessoal envolvido, mas principalmente da estratégia adotada pelo gestor da manutenção. Além de equipamentos modernos, é necessária a preocupação em entender a origem das falhas, visando atacar não as consequências, mas sim as causas utilizando os métodos mais adequados.

Como resultado do trabalho, pretende-se propor um modelo de maturidade que auxilie as organizações a alcançarem resultados efetivos, através da utilização de modelos de gestão apropriados ao perfil da organização, visando atingir um desempenho de classe mundial.

1.3 Metodologia de investigação

Para Gonsalves (2011), o caminho da investigação científica indica pontos desconhecidos ou parcialmente conhecidos, pois a ciência está alicerçada na dúvida e não na certeza.

O presente trabalho envolveu a elaboração de um questionário com o objetivo de levar a cabo um estudo exploratório para identificar as práticas de manutenção das organizações no âmbito da gestão da manutenção. Foram também realizados casos de estudo em empresas de diferentes segmentos industriais e em países distintos, para validar o modelo desenvolvido.

Um caso de estudo designa um método da abordagem de investigação que consiste na utilização de um ou mais métodos quantitativos de recolha de informação não seguindo uma linha rígida de investigação. Segundo Yin (2011), um caso de estudo pode ser exploratório, descritivo, ou explanatório.

Numa outra abordagem sobre casos de estudo, Yin (2013), afirma que o caso de estudo é uma investigação empírica que investiga um fenómeno contemporâneo dentro de seu contexto da vida real, especialmente quando os limites entre os fenómenos e o contexto não estão claramente definidos. Além disso, o autor enfatiza que um caso de estudo deve levar em conta as premissas relacionadas com o estudo das questões, suas proposições, a sistemática de análise, a existência de uma lógica associando os dados com as proposições e um critério para a interpretação das informações obtidas.

A partir do modelo de maturidade desenvolvido por Crosby em 1979 para a área da Qualidade, diversos pesquisadores propuseram modelos para diversas áreas do conhecimento, cobrindo desde as áreas do comportamento humano até processos industriais. Relativamente ao desenvolvimento de modelos para a área industrial, destacam-se aqueles relacionados com os processos de gestão da manutenção. Uma análise crítica dos modelos existentes permitiu a proposição de um modelo mais amplo para orientar os gestores da área de manutenção de uma empresa na busca por melhores resultados nesta área, a partir do reconhecimento do estado atual da área de manutenção, seguida da elaboração de uma estratégia para alcançar os níveis imediatamente superiores.

1.4 Organização da dissertação

O desenvolvimento deste trabalho deu-se em quatro etapas distintas. A primeira etapa consistiu na avaliação dos modelos de maturidade existentes para a área de manutenção, de maneira a avaliar sua extensão, forças e fragilidades. A segunda etapa consistiu na elaboração de um questionário voltado para a avaliação da área de manutenção de uma organização e a sua aplicação no parque industrial situado na cidade de Manaus, no estado do Amazonas, Brasil. A terceira etapa consistiu na

recolha e análise de dados, com a aplicação de testes estatísticos, para suportar a existência das classes propostas no modelo, bem como os respetivos níveis. Os níveis do modelo foram baseados na bibliografia existente, incluindo os modelos de maturidade existentes. Pretendeu-se criar níveis voltados para a adequada avaliação do estado da manutenção da organização, evitando o seu excesso, sem contudo criar zonas de incerteza quanto à adequada classificação. As classes do modelo foram definidas de forma a incluir todas as atividades ou fatores que são envolvidos na gestão da manutenção e as atividades ou fatores por ela influenciados. A última etapa consistiu em validar o modelo de maturidade proposto em empresas de distintos segmentos industriais e de países distintos.

O documento foi estruturado em nove capítulos, que promovem uma extensa discussão sobre a gestão da manutenção, modelos de maturidade e a validação do modelo proposto no estudo. O capítulo 1 apresenta as motivações, objetivos e metodologia seguida no trabalho. O capítulo 2 apresenta o estado da arte da gestão da manutenção, abrangendo as estratégias de manutenção, tipos de atividades, planeamento e uso de suporte informático. O capítulo 3 trata das metodologias de apoio à gestão da manutenção, e apresenta uma breve discussão de ferramentas e técnicas existentes para análise de falhas e melhoria contínua. O capítulo 4 é dedicado à avaliação de desempenho da manutenção, fazendo uma revisão bibliográfica acerca da adoção e escolha de indicadores de desempenho.

O capítulo 5 reporta e faz uma análise crítica dos modelos de maturidade existentes na área da Qualidade, Gestão de Pessoas, Tecnologia da Informação, Gestão da Manutenção, entre outros. O capítulo 6 é dedicado ao estudo exploratório incluindo a análise dos resultados provenientes da recolha dos dados da pesquisa de campo realizada no polo industrial de Manaus. O capítulo 6 inclui também testes estatísticos realizados com o intuito de identificar diferenças nas práticas de manutenção em empresas de origem nacional e internacional, de empresas que adotam e que não adotam o TPM e, por fim, de empresas que utilizam e que não utilizam um sistema informático de gestão da manutenção.

O capítulo 7 apresenta o modelo de maturidade que é objeto final deste trabalho, justificando as classes e níveis. O capítulo 8 apresenta os resultados dos casos de estudo mostrando a eficácia do modelo, bem como a sua fácil aplicação. O capítulo 9 apresenta as conclusões deste trabalho e propostas de trabalho futuro.

2. A GESTÃO DA MANUTENÇÃO

2.1 A Manutenção

A falta de cumprimento do que se havia definido previamente por “desempenho correto” é definida como *Falha*.

Segundo Kardec e Lafraia (2002) a falha consiste “num estado físico anormal de um sistema que seja uma ameaça para a operação do mesmo. Com “anormalidade” entende-se o desvio de algum parâmetro mensurável além dos limites do que o projeto e a experiência consideram aconselhável para uma operação normal.

Para Smith e Hinchliffe (2004) a manutenção tem como objetivo “preservar as capacidades funcionais de equipamentos e sistemas em operação”, evitando e solucionando as falhas. Para Moubray (2000) o objetivo da manutenção é “assegurar que itens físicos continuem a fazer o que os utilizadores desejam que eles façam”.

Já a norma SAE JA1011:2009 estabelece que a manutenção deve garantir que “itens físicos continuem a desempenhar suas funções planeadas”. Conforme Oliveira et al. (2009), a manutenção só cumpre realmente o seu papel quando chega antes e consegue prever possíveis acontecimentos que possam paralisar e prejudicar a produção, com consequente perda de volume, aumento das despesas da operação e redução das margens do negócio.

Sherwin (2000) explora o conceito e indica que a manutenção periódica foi em primeiro lugar prescrita para melhorar a segurança e não para aumentar a disponibilidade ou reduzir custos.

É válido ressaltar que o conceito de manutenção tem evoluído ao longo dos tempos, assim como tem evoluído o que se deve entender, no seio de uma empresa, como função Manutenção.

A norma NP EN13306:2007 define o conceito de manutenção como sendo a combinação de todas as ações técnicas, administrativas e de gestão, durante o ciclo de vida de um elemento destinadas a conservá-lo ou repô-lo num estado no qual execute a função requerida.

2.2 Gestão da manutenção

A gestão da manutenção estabelece metas e objetivos por meio de normas e procedimentos de trabalho, de modo a obter-se um melhor aproveitamento dos recursos disponíveis sejam eles pessoais, equipamentos ou materiais.

De acordo com Kardec e Nascif (2007) a gestão moderna deve estar sustentada por uma visão de futuro e regida por processos de gestão onde a satisfação plena dos clientes seja resultante da qualidade dos produtos e serviços.

Segundo esta linha de pensamento, a gestão da manutenção é considerada estratégica quando está voltada para os resultados empresariais da organização. E isso implica que, além de ter que garantir a disponibilidade funcional dos equipamentos e instalações de um processo de produção ou serviço, a gestão da manutenção precisa aliar os fatores de fiabilidade, segurança, preservação ambiental e custos moderados.

Para Kardec e Nascif (2007) a visão sistémica do negócio e a mudança de paradigmas e conceitos levaram a grandes inovações no processo de gestão da manutenção.

As empresas diferem, principalmente, nas suas estratégias de manutenção, pela combinação das decisões tomadas no âmbito das diversas atividades envolvidas na gestão da manutenção, uma vez que vários aspectos operacionais e requisitos de negócios tendem a influenciar essas decisões.

Marquez e Gupta (2006) propõem um modelo onde desenvolvem três pilares para dar suporte à gestão da manutenção:

- Pilar 1: TI (tecnologia da informação);
- Pilar 2: ME (engenharia de manutenção);
- Pilar 3: Gestão de Relacionamento.

Cada um destes pilares contém um conjunto de funções que são, por sua vez, classificadas e direcionadas em função das atividades estratégicas, táticas e operacionais.

Para alcançar o que se designa de *World Class Maintenance* - manutenção de classe mundial, faz-se necessário a melhoria dos processos de manutenção adotados, e isso pode ser alcançado através do uso de técnicas e ferramentas de apoio à gestão da manutenção, tais como TPM, RCM, FMEA, Fiabilidade, Indicadores de Desempenho (OEE, MTBF, MTTR) e software (CMMS).

2.3 Estratégias e Tipos de manutenção

A manutenção deve garantir a disponibilidade das funções dos equipamentos e instalações (ativos), de modo assegurar um processo de produção com fiabilidade, segurança, preservação do meio ambiente e custos adequados.

Na literatura, segundo Pintelón *et al.* (2006), a definição do termo "*estratégia de manutenção*" é demasiado estreito ou muito vago. Por vezes, o termo é visto na perspetiva das políticas de manutenção, como manutenção corretiva (CM), manutenção preventiva (PM), e manutenção preditiva (PdM). Os conceitos de manutenção, como Manutenção Produtiva Total (TPM) ou Manutenção Centrada na Fiabilidade (RCM) também estão incluídos na lista acima.

Swanson (2001) define três tipos de estratégias de manutenção: *estratégia reativa (CM)*, *estratégia proactiva (PM e PdM)* e *estratégia agressiva (TPM)*. Bevilacqua e Braglia (2000) consideram cada política de manutenção como uma estratégia distinta. Kevin e Penlesky (1988) associam a estratégia de manutenção a um conjunto de elementos como políticas de manutenção, equipamentos de backup e atualização de equipamentos. Tsang (1998) dá alguns exemplos de estratégias de manutenção como a maximização da utilização de ativos, melhoria e foco no desenvolvimento de competências essenciais. Além disso, Tsang (2002) identifica quatro dimensões estratégicas na manutenção: *entregas de serviço, organização e estruturação do trabalho, metodologia de manutenção e sistemas de apoio*. Kelly (1997) propõe a estratégia de manutenção como a identificação, alocação de recursos e execução de reparações, decisões de substituição e inspeção.

Os diversos tipos de manutenção podem também ser considerados como políticas de manutenção, desde que sua aplicação seja o resultado de uma definição de gestão ou política global de instalação, baseada em dados técnico-económicos.

Para Kardec e Lafraia (2002) as atividades corretivas e preventivas fazem parte das atividades de qualquer unidade industrial, e a evolução do processo de gestão da organização permitirá a aplicação do modelo mais conveniente, conforme indicado na figura 1, permitindo migrar de um estágio predominantemente corretivo para o preventivo.

- **Manutenção corretiva não planeada:** é a correção da falha de maneira aleatória. Caracteriza-se pela atuação da manutenção em facto já ocorrido. Manutenção corretiva é muitas vezes dominada por eventos não

planeados, ou seja, falha funcional, mau funcionamento ou avaria de equipamentos (Kardec & Lafraia, 2002; Niebel, 1996; Tsang, 1995).

- **Manutenção corretiva planeada:** é a correção do desempenho menor do que o esperado ou da falha, por decisão de gestão, isto é, pela atuação em função de acompanhamento preditivo ou pela decisão de operar até à quebra. É uma atividade de reparação realizada para amenizar uma falha potencial do ativo ou corrigir as deficiências encontradas durante as tarefas de manutenção preventiva e manutenção preditiva (Gulati, 2009; Kardec & Lafraia, 2002).
- **Manutenção preventiva:** também designada de manutenção preventiva sistemática por oposição à manutenção preventiva condicionada, é a atuação realizada de forma a reduzir ou evitar a falha ou quebra no desempenho, obedecendo a um plano previamente elaborado, baseado em intervalos definidos de tempo. A manutenção preventiva refere-se a uma série de ações que são executadas num equipamento a partir de uma programação de atividades definidas, de modo a aumentar o ciclo de vida dos ativos e evitar atividades de manutenção não programadas (Gulati, 2009; Kardec & Lafraia, 2002). A manutenção preventiva foi introduzida para superar as desvantagens da manutenção corretiva, reduzindo a probabilidade de ocorrência de falha e evitar o fracasso repentino ou a súbita paragem (Horner *et al.*, 1997).
- **Manutenção baseada na condição ou Manutenção preditiva:** é a atuação realizada com base na modificação de parâmetros de condição ou desempenho, cujo acompanhamento obedece a uma sistemática. É a manutenção baseada em condição, também conhecida como manutenção preditiva, de maneira a avaliar a condição de um ativo, realizando a monitorização periódica ou contínua de um ativo por meio de controlo estatístico de processo e análise de tendência, a fim de determinar em que momento as atividades de manutenção futuras serão realizadas com custo adequado (Gulati, 2009; Kardec & Lafraia, 2002).

- **Manutenção de deteção:** é a atuação efetuada em sistemas de proteção buscando detetar falhas ocultas ou não perceptíveis ao pessoal de operação e manutenção. Ou seja, é a caracterização de uma função oculta, cuja falha não será evidente e que ocorre sob circunstâncias normais (Kardec & Lafraia, 2002; Moubray, 2000).
- **Engenharia de manutenção:** também designada de manutenção de melhoria, é a atuação baseada na aplicação de técnicas modernas de manutenção e a procura de *benchmarks*, com o objetivo de eliminar reparações repetidas, identificando as causas básicas. Inclui a modificação de situações permanentes de mau desempenho, a eliminação de problemas crônicos, a melhoria padrões e sistemáticas, o desenvolvimento da manutibilidade, dar retorno aos projetos e realizar o planeamento das atividades a custos compatíveis (Kardec & Lafraia, 2002; Pereira, 2010).

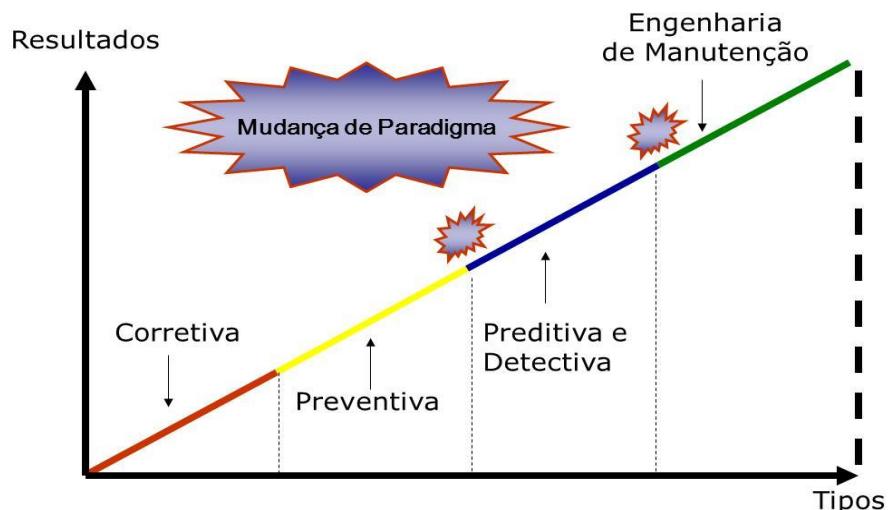


Figura 1 - Proposta de modelo para a gestão da manutenção de classe mundial
(Fonte: Kardec & Lafraia, 2002).

Siqueira (2005) sustenta que, tradicionalmente, as atividades de manutenção têm sido classificadas de acordo com a forma de programação e o objetivo das tarefas executadas, conforme apresentado na figura 2.

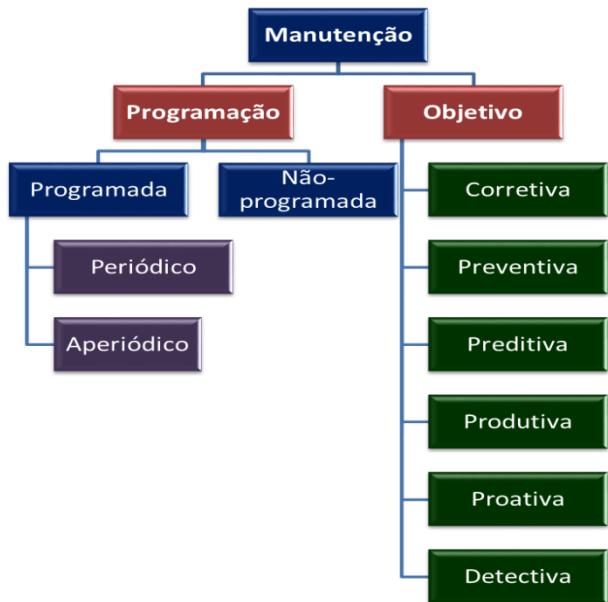


Figura 2 - Manutenção x Objetivo
(Fonte: Siqueira, 2005).

Ainda de acordo com o autor, muitos desafios e oportunidades abriram-se nos últimos anos, pois a busca por uma maior eficiência operacional levou ao desenvolvimento e aplicação de práticas de manutenção mais modernas, ou simplesmente fez com que algumas ações nesse sentido fossem iniciadas. Kardec e Lafraia (2002) apontam alguns problemas que fazem parte do quotidiano das equipes de manutenção de muitas empresas, tais como:

- *Manutenção proativa insuficiente;*
- *Repetição de problemas de forma frequente;*
- *Atividades de manutenção mal planeadas ou erróneas;*
- *Práticas de manutenção não formalizadas ou não institucionalizadas;*
- *Manutenção preventiva conservativa e desnecessária;*
- *Falta de rastreabilidade e visibilidade do programa de manutenção;*
- *Introdução de novos processos e equipamentos de forma ineficiente;*
- *Obsolescência dos planos de manutenção;*
- *Variação nos processos de manutenção em diferentes plantas da empresa (mesmos processos e equipamentos envolvidos com diferentes estratégias e abordagens para a função manutenção);*
- *Uso ineficiente das técnicas de manutenção preditiva, podendo até mesmo citar a inexistência desta prática;*
- *Falta de comprometimento a médio e longo prazo;*
- *Não emprego da regra 80/20.*

Segundo Oliveira *et al.* (2009) quando a manutenção é preventiva, criteriosa e competente, os riscos de provocar os impactos acima são minimizados e a equipa de

manutenção fica fora do foco das preocupações da direção da empresa. Como consequência, há uma tendência de julgamento precoce de que a manutenção tem excesso de recursos e, portanto, pode ter um orçamento reduzido. No entanto, isso constitui um erro estratégico para a redução de custos, pois o que acaba realmente acontecendo é a redução das práticas preventivas e preditivas, com um significativo aumento das ações corretivas.

Ainda conforme o autor, a prática corretiva é o início da espiral indesejável que leva as empresas ao caos da ineficiência e rápida deterioração da operação. E as razões são muito simples de entender, uma vez que o evento que a dispara ocorre sempre durante o processo de produção e sua correção implica a paragem da produção para executar o conserto, ou seja, trata-se de uma ação sumária de reparação. O que se procura, no entanto, é minimizar as práticas corretivas com tendência assintótica. Convém suportar esta ideia com a gama de ferramentas disponíveis para a melhor gestão da manutenção e o estudo das falhas.

Na realidade, a necessidade vital de ações preditivas e preventivas teve sua origem com a escala de volume de produção e crescente automação da atividade industrial. Nessas condições é que conseguimos sentir o potencial das ações de manutenção programada.

2.4 Os sistemas de gestão da manutenção informatizados

Segundo Carnero e Novés (2006) a complexidade de uma unidade industrial moderna está a aumentar e a gestão da manutenção é agora considerada um fator importante para a melhoria de desempenho da operação, segurança, aumento de disponibilidade, vida útil e redução de custo e, para isso, o uso de sistemas informatizados são essenciais. Estes sistemas são conhecidos como sistemas de gestão de manutenção computadorizada (CMMS - *Computerized Maintenance Management System*).

Souza (2007) sustenta a tese de que um software é uma solução avançada e inovadora que cobre e resolve vários problemas e necessidades do moderno departamento de manutenção no que diz respeito ao controlo, proporcionando a todo o momento a informação desejada, seja do ponto de vista técnico ou de gestão.

Existem vários sistemas para a gestão de manutenção disponíveis no mercado, com uma vasta gama de alternativas, facilidades e complexidades. Na sua totalidade, oferecem muito mais recursos e/ou opções aos utilizadores do que aqueles que

realmente eles necessitam. E isso faz com estes elejam algumas destas funções como as mais importantes. Sendo assim paga-se por um sistema e utiliza-se muito pouco de seus recursos, sendo este um fator de custo a ser considerado.

Além disso, algumas estratégias adotadas para a gestão da manutenção podem fazer com que determinado aplicativo seja ineficaz, pois o mesmo pode estar totalmente subutilizado. Na fase de planeamento das atividades de manutenção define-se o âmbito e abrangência da sua utilização. Nesta etapa, os gestores deparam-se com a necessidade de oferecer os recursos a mais pessoas ou limitar o número devido às licenças de utilização e isso causa um forte impacto no custo final.

Na sua análise crítica sobre a necessidade e aplicação adequada de um sistema informatizado de manutenção, Prado (2001) enfatiza que a utilização de um sistema de gestão de manutenção não é apenas uma forma de usar um recurso tecnológico, mas é essencialmente uma postura de gestão.

Para Levitt (1997) a informatização da manutenção permite a prevenção de custos, melhoria de serviços, controlo de equipas, garantia de disponibilidade de ativos, melhoria de qualidade e, sobretudo, o acesso a informações para serem analisadas de forma mais rápida, dando à manutenção um caráter mais profissional.

Nesta mesma matéria, Higgins *et al.* (2001) atribuem à utilização de um sistema computadorizado na manutenção alguns benefícios associados como a redução de custos, melhor acesso às informações, um melhor planeamento e controlo dos processos de manutenção.

Segundo Fernandez *et al.* (2003) a informação é um fator importante para a estratégia de gestão da manutenção e é a base para os sistemas computadorizados.

O entendimento das atividades de manutenção, quando feita de forma adequada, permite a escolha de um sistema de gestão informatizado mais adequado às necessidades da organização.

Sherwin (2000) explicita que, atualmente, com o avanço dos sistemas computacionais, é possível determinar uma melhor forma de gerir a manutenção por meio da otimização de suas atividades, integrando a função manutenção com o resto das atividades da empresa através de avançados sistemas de TI (*Tecnologia da Informação*), que se tornaram mais necessários nos dias atuais e, portanto, tornaram-se mais economicamente viáveis.

3. METODOLOGIAS, FERRAMENTAS E TÉCNICAS DE ANÁLISE E PREVENÇÃO DE FALHAS

Neste capítulo serão apresentadas metodologias de apoio à gestão da manutenção, bem como uma breve descrição de ferramentas e técnicas de análise e prevenção de falhas que podem ser adotadas pela área de manutenção da organização a fim de aprimorar as suas atividades.

3.1 Metodologias de suporte à gestão da manutenção

Conforme Kardec e Nascif (2007) várias ferramentas disponíveis e adotadas hoje em dia têm no nome a palavra Manutenção, salientando que é importante observar que esses não são novos tipos de manutenção, mas ferramentas que permitem a aplicação dos tipos principais de manutenção citados anteriormente e entre elas destacam-se:

- Manutenção Produtiva Total (TPM) ou *Total Productive Maintenance*.
- Manutenção Centrada na Fiabilidade (RCM) ou *Reliability Centered Maintenance*.
- Manutenção Baseada na Fiabilidade (RBM) ou *Reliability Based Maintenance*.
- Manutenção Baseada na Condição (CBM) ou *Condition Based Maintenance*.
- Engenharia de Manutenção.
- Lean Maintenance.

As ferramentas citadas são descritas nas subsecções seguintes.

3.1.1 Manutenção Produtiva Total

Para Takahashi e Osada (1993) a Manutenção Produtiva Total está entre os métodos mais eficazes para transformar uma fábrica, desenvolvendo a sua atividade com gerstão orientado para o equipamento, coerente com as mudanças da sociedade contemporânea.

Segundo Xenos (2004) a manutenção produtiva pode ser entendida como a melhor aplicação dos diversos métodos de manutenção, visando otimizar os fatores económicos da produção, proporcionando e garantindo a melhor utilização e maior produtividade dos equipamentos.

Também abrange todas as etapas do ciclo de vida dos equipamentos, desde a sua especificação até o final de sua vida útil, levando em consideração os custos de manutenção praticados e a produtividade do equipamento ao longo do seu ciclo de vida.

Para Nakajima (1988), o conceito de TPM inclui cinco elementos, que são:

1. TPM visa maximizar a eficácia do equipamento.
2. TPM estabelece um sistema completo de manutenção preventiva para extensão da vida do equipamento.
3. TPM é implementado por vários departamentos de uma empresa.
4. TPM envolve cada funcionário, da alta gestão aos trabalhadores do chão de fábrica.
5. TPM é uma estratégia agressiva e centra-se em realmente melhorar a função e projeto do equipamento de produção.

Sharma *et al.* (2006) enfatiza que a palavra *Total* na terminologia TPM tem três significados, que abrange as seguintes dimensões: *eficiência total*, *manutenção total* e *participação total*. No âmbito da eficiência total o TPM está em busca de eficiência económica e rentabilidade, que inclui a produtividade, qualidade, custo, entrega, segurança, ambiente, saúde e moral. A manutenção total refere-se à manutenção preventiva e melhoria do equipamento, de modo a aumentar a fiabilidade, manutibilidade, apoio e melhorias no projeto do equipamento. A participação total inclui a participação dos colaboradores em pequenos grupos de atividades e a realização da manutenção autónoma pelos operadores.

Ainda para estes autores, o TPM possui duas abordagens principais na literatura: a *abordagem ocidental*, que enfatiza o equipamento, com o entendimento que o operador e o envolvimento nos esforços TPM são requeridos, ou seja, com foco na melhoria dos equipamentos, e a *abordagem japonesa*, que enfatiza o trabalho em equipa, atividades em pequenos grupos e a participação de todos os colaboradores no processo TPM, ou seja, é mais focada em pessoas e processos.

Cabral (2006) afirma que muitas empresas empenham-se na aplicação de uma ou duas técnicas, ou pilares, contidos no TPM e divulgam este esforço como sendo TPM na totalidade, o que não é. Ainda para o autor, a implementação do TPM é uma tarefa que requer planeamento apurado e que dá ênfase aos aspectos motivacionais e de formação. Além disso, o TPM é a manutenção conduzida com a participação de todos, desde os operadores das máquinas e do pessoal da manutenção, até ao nível superior da gestão. Tsang (1998) enfatiza que numa organização praticando Manutenção Produtiva Total, a rotina de inspeção e manutenção periódica dos equipamentos são realizadas pelos operadores de máquinas, enquanto que as revisões

e grandes reparações são realizadas pela equipa de manutenção. As atividades principais da TPM são exercidas sob os seus vários pilares.

Conforme Sharma *et al.* (2006) diferentes investigadores têm apresentado diferentes pilares, mas, o modelo mais aceito é o modelo de oito pilares de Nakajima (Nakajima, 1988; Nakajima, 1989), conforme apresentado na figura 3. Ainda segundo o autor, alguns praticantes de TPM ocidentais apresentaram modelos mais simplificados (SME, 1995; Steinbacher & Steinbacher, 1993; Yeomans & Millington, 1997) para os pilares da TPM.

Uma comparação entre os vários modelos encontra-se na tabela 1.

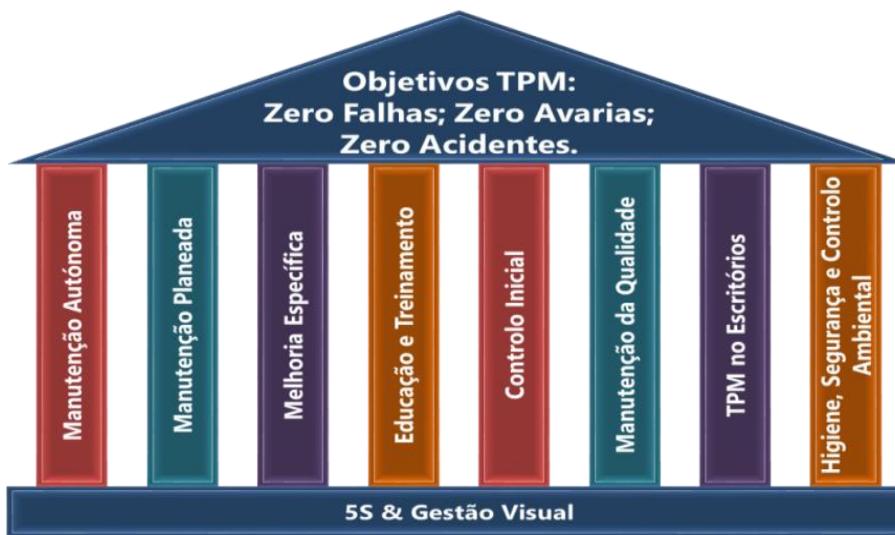


Figura 3 - Pilares da Manutenção Produtiva Total - TPM
(Fonte: Cabral, 2006).

Tabela 1 - Comparação entre vários pilares do TPM.

Modelos Propostos para Pilar da TPM				
Nakajima (1984)	Yoemans & Millinton (1997)	Steinbacher & Steinbacher (1993)	SME (1995)	Cabral (2006)
Melhoria Contínua	Aumentar a eficácia do equipamento	Manutenção Corretiva	Melhorar a eficácia do equipamento	Melhorias individualizadas nas máquinas
Manutenção Autónoma	Manutenção Autónoma	Manutenção Autónoma	Envolve operadores na manutenção diária	Estruturação da manutenção autónoma
Manutenção Preventiva	Manutenção Preventiva Planeada	Manutenção preventiva Manutenção Preditiva	-	Estruturação da manutenção planeada
Educação e Formação	Treinamento	-	Educação e Formação	Formação por incremento das capacidades do operador e do técnico da manutenção
Prevenção da Manutenção	Gestão de equipamentos antecipada	Prevenção da Manutenção	Projeto e Gestão de equipamentos para prevenção da manutenção	Controlo inicial do equipamento e produtos
Manutenção da Qualidade	-	-	Melhorar a eficiência da manutenção e Eficácia	Manutenção da qualidade
TPM no Escritório	-	-	-	TPM nos escritórios
Segurança, Saúde e Meio-Ambiente	-	-	-	Higiene, segurança e controlo ambiental

(adaptado de Sharma *et al.*, 2006 e Cabral, 2006).

A seguir são definidos cada um dos pilares segundo o modelo de Nakajima.

- **Manutenção autónoma** é considerado o pilar mais importante do TPM, pois permite aplicar os cuidados básicos de manutenção da máquina através do operador (Cabral, 2006). Robinson e Ginder (1995) indicam que a manutenção autónoma é a atividade em que os operadores aceitam e unem as mãos com o pessoal de manutenção para a realização da manutenção de seus equipamentos. As etapas para a aplicação da manutenção autónoma são: *limpeza inicial; eliminação de fontes de sujidade e local de difícil acesso; elaboração de normas de limpeza e lubrificação; inspeção geral; inspeção autónoma; organização e ordem; e, por fim, consolidação*. Nesta fase os operadores devem assumir a responsabilidade pelos equipamentos que operam. Conforme Ribeiro e Fogliatto (2009) as atividades de manutenção autónoma implicam: *a elaboração de padrões de limpeza e lubrificação; a realização de limpeza, a lubrificação e reapertos; a elaboração de listas de verificações; inspeções guiadas pelas listas de verificações; identificação de anomalias; pequenos consertos; solicitação de técnicos de manutenção, quando necessário; e registo dos parâmetros do equipamento, falhas e intervenções*.
- **Manutenção planeada** consiste no desenvolvimento de ações preventivas que visem a *quebra zero, aumentar a eficiência e eficácia dos equipamentos*, uma vez que as melhorias iniciais nos equipamentos e a implementação da manutenção autónoma libertam o departamento de manutenção das tarefas mais básicas e rotineiras podendo, assim, o departamento concentrar-se em ações voltadas para o planeamento anual, mensal, semanal e diário, bem como nos devidos registos das atividades realizadas, na otimização do uso dos recursos disponíveis e estabelecer os padrões a serem seguidos em todas as intervenções. De acordo com Suzuki (1994), a manutenção planeada estabelece e mantém o equipamento e o processo nas condições ideais. As etapas para a aplicação da manutenção planeada são: avaliar o equipamento e compreender a situação atual (índice de quebras, custos de manutenção); restaurar as condições ideais; estruturação do controlo de informação e dados; estruturação da manutenção periódica (baseado no tempo); estruturação da manutenção preditiva (baseado na condição); e, avaliar o controlo de manutenção planeada.

Conforme Ribeiro e Fogliatto (2009), a Manutenção Planeada substitui o comportamento reativo para uma atividade pró-ativa.

- **Melhoria específica** tem por objetivo reduzir perdas e aumentar o potencial produtivo dos ativos da empresa a partir da identificação das perdas existentes no processo. Para Nakajima (1988), maximizar a eficiência do equipamento requer a completa eliminação de falhas, defeitos, desperdícios e perdas. Para Suzuki (1994), este pilar engloba todas as atividades que maximizam a eficiência global dos equipamentos, processos e planta e melhora o desempenho através da eliminação completa das perdas. O pilar Melhoria Específica nos leva a tomar ações voltadas para a *Melhoria Contínua ou Projeto Kaizen*, com a finalidade de reduzir tempos operacionais, aumentar a segurança, reduzir tempos de setups ou aumentar a disponibilidade de um ativo, perdas de velocidade, perdas por paragens, perdas devido a defeitos de qualidade e pequenas paragens.
- **Educação e Formação** visam a elevação contínua do nível de capacitação de todos os funcionários de uma empresa. Estabelece as competências e habilidades necessárias para técnicos de manutenção e operadores. Em linhas gerais, para que haja um aumento de produtividade, é necessário que os operadores saibam operar os equipamentos e manusear as ferramentas de trabalho. Esta premissa também se aplica aos técnicos de manutenção dos equipamentos, ou seja, é necessário que eles conheçam o equipamento tecnicamente e saibam operá-lo, de maneira que possam executar as atividades de ajustes e consertos necessários. Para que isso ocorra, a capacitação técnica deve ser privilegiada através de políticas de reciclagem e formação contínua, ou seja, o tratamento das necessidades de formação deve ser entendido de forma estratégica dentro das organizações. Segundo Suzuki (1994), este pilar garante o sucesso dos demais pilares do programa TPM numa empresa. De acordo com Sharma *et al.* (2006) numerosos métodos para a condução de formação têm sido discutidos e propostos, de entre eles a formação no posto de trabalho (*on the job training*), formação fora do posto de trabalho (*off the job training*) e lição ponto a ponto (*one point lesson*). As etapas para a aplicação deste pilar consistem em: definição de políticas e diretrizes; programa de desenvolvimento; Formação para desenvolver capacidades de operações e manutenção; plano de desenvolvimento de competências; programa de autodesenvolvimento; e, avaliação e planeamento do futuro.

- **Prevenção da manutenção** tem por objetivo reduzir o tempo de introdução de novos produtos, equipamentos e processos. Para o desenvolvimento deste pilar, as etapas a seguir devem ser: exame e análise do estado atual; estabelecimento do sistema de controlo inicial; educar nos novos sistemas; e, utilização total do novo sistema. Segundo Pereira (2009), um bom projeto deve permitir que o equipamento possa ser consertado com a rapidez e a qualidade requeridas, incluindo facilidade de acesso, boa qualidade dos componentes, bem como proteções que evitem resíduos de processo em partes móveis. Para Nakajima (1989) a gestão de equipamentos pode ser dividida em projetos de engenharia e engenharia de manutenção e, neste caso, a Prevenção da Manutenção (MP) é um aspecto significativo de engenharia de projeto que serve como referência entre projeto e engenharia de manutenção, com o objetivo de reduzir os custos de manutenção e perdas por deterioração em novos equipamentos, considerando os dados de manutenção do passado e as mais recentes tecnologias na conceção de maior fiabilidade, facilidade de manutenção, operacionalidade, segurança e outros requisitos. Ainda segundo o autor, isso significa projetar e instalar o equipamento que vai ser fácil de manter e operar.
- **Manutenção da qualidade.** Para Nakajima (1988), este pilar relaciona-se com a qualidade do produto produzido tem por objetivo a busca por *zero defeito, zero retrabalho e zero rejeição*. De acordo com Schonberger (2008), a manutenção da qualidade suporta o objetivo chave do TPM, ou seja, garantir a fiabilidade dos equipamentos e processos a fim de funcionar corretamente durante o seu ciclo de vida. Shirose (1996) descreve que o conceito geral da manutenção da qualidade é a integração e execução de estruturas, práticas e metodologias estabelecidas no âmbito da melhoria contínua, manutenção autónoma, manutenção planeada e prevenção da manutenção.
- **TPM em áreas administrativas.** De acordo com Suzuki (1994), este pilar centra-se na identificação e eliminação de perdas de eficiência em atividades administrativas tem por objetivo reduzir perdas e aumentar o potencial, permitindo aplicar nessas áreas as mesmas práticas adotadas no processo produtivo, com o intuito de envolver as demais áreas da organização, tais como recursos humanos, segurança, logística, financeiras, entre outras, de modo que possam colaborar com a perda zero a partir de seus processos.

- **Segurança, Higiene e Meio Ambiente** pretende alcançar zero acidente e zero contaminação ambiental, configurando ações para obtenção da "perda zero" ou "zero defeitos". Segundo Suzuki (1994), a condução deste pilar assegura alta fiabilidade dos equipamentos, evita o erro humano e contribui para a eliminação de acidentes e poluição.

Pode-se sintetizar os resultados alcançados com a implementação do TPM em duas categorias: *resultados tangíveis* e *resultados intangíveis*, segundo o exposto na figura 4.



Figura 4 - Resultados esperados com o TPM
(Fonte: Cabral, 2006; Gulati, 2009).

3.1.2 Manutenção Centrada na Fiabilidade

A norma SAE JA1011:2009, que define os *Critérios de Avaliação para Processos de Manutenção Centrados na Fiabilidade (RCM)* (2009), indica que a Manutenção Centrada na Fiabilidade (RCM) foi inicialmente desenvolvida pelo segmento comercial da aviação para aprimorar a segurança e fiabilidade dos aviões. Foi primeiramente documentada num relatório escrito por F.S. Nowlan e H.F. Heap, e publicada pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos da América do Norte em 1978.

Conforme a citada norma, desde então a RCM tem sido utilizada para auxiliar a formulação de estratégias de manutenção de ativos físicos em quase todas as áreas do empreendimento humano organizado, e em quase todos os países industrializados no mundo. O processo definido por Nowlan e Heap serviu de base a vários documentos de

aplicação, nos quais o processo RCM tem sido aprimorado e redefinido durante os anos seguintes. A maioria desses documentos tem em si os elementos-chave do processo original. Porém, o uso excessivamente vasto do termo “RCM” deu origem a uma variedade de processos que se diferenciam significativamente do original, mas os seus criadores também os chamam de “RCM”. Muitos desses processos não conseguem alcançar os objetivos de Nowlan e Heap, e alguns até são ativamente contraproducentes.

Como resultado, tem havido uma crescente demanda internacional por um padrão que determinasse os critérios aos quais um processo deve se adequar para que possa ser chamado de “RCM”. O documento SAE JA1011:2009 atende essa necessidade.

Os critérios contidos neste Padrão SAE estão baseados nos processos e conceitos de RCM de três documentos: (1) o livro de Nowlan e Heap de 1978, “Manutenção Centrada na fiabilidade”, (2) o MIL-STD-2173(AS) (Requisitos de Manutenção Centrada na fiabilidade de Aviões da Marinha, Sistemas de Armamentos e Equipamento de Suporte) e seu sucessor, Manual 00-25-403 de Gestão do Comando de Sistemas Aeronavais dos Estados Unidos (Diretrizes de Processos de Manutenção Centrada na fiabilidade para a Aviação Naval) e (3) “Manutenção Centrada na fiabilidade (RCM 2)” de John Moubray. Estes documentos são considerados os documentos de RCM disponíveis mais amplamente aceites e utilizados.

Para Moubray (2000), a RCM é um processo usado para determinar o que deve ser feito para assegurar que qualquer ativo físico continue a fazer o que seus utilizadores querem que ele faça no seu contexto operacional.

De acordo com Levitt (1997), um dos melhores modelos para melhoria contínua é a aplicação de técnicas usadas na RCM, uma vez que é um potencial meio de melhorar a manutenção porque é direcionada para a necessidade do cliente.

Segundo Fogliato e Ribeiro (2009), o RCM pode ser definido como um programa que reúne várias técnicas de engenharia para assegurar que os equipamentos de uma planta fabril continuem realizando as funções especificadas.

Pereira (2009) enfatiza que é uma metodologia utilizada para que qualquer componente de um ativo ou sistema operacional mantenha as suas funções, sua condição de uso com segurança, qualidade, economia e ainda que o seu desempenho não degrade o meio ambiente.

Kianfar e Kianfar (2010) estabelecem que o RCM é uma metodologia para a elaboração do programa de manutenção preventiva da planta com o objetivo de preservar o plano funcional com menos recursos.

Moubray (2000) define que o processo do RCM implica sete perguntas sobre cada um dos itens sob análise, conforme mostrado na figura 5.

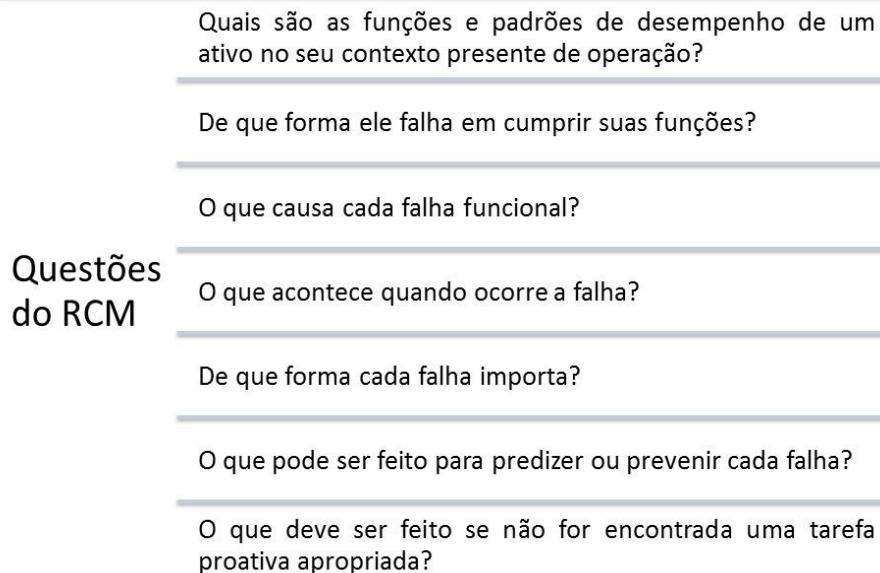


Figura 5 - As sete questões básicas do RCM
(Fonte: Moubray, 2000).

Para Assis (2010), na manutenção tradicional o enfoque está no "*equipamento e prevenção das falhas*", enquanto que no RCM o enfoque está nas "*funções do equipamento e prevenção das consequências das falhas*". Ainda para este autor, o RCM foi inicialmente desenvolvido para a fase de projeto de um equipamento, de modo a que o fabricante pudesse desenvolver e recomendar aos utilizadores um programa inicial de manutenção, o mais equilibrado possível entre manutenção preventiva e corretiva.

Uma das características do RCM é fornecer um método estruturado para selecionar as atividades de manutenção para qualquer processo produtivo. O método é formado por um conjunto de passos bem definidos, os quais precisam ser seguidos de forma sequencial para responder às questões formuladas pelo RCM e garantir os resultados desejados. Consiste num conceito e aplicação de técnicas mais modernas que auxiliam no controlo e prevenção de falhas num determinado processo, aliando resultados práticos com metodologias de trabalho eficientes, com posterior aplicação

nos processos produtivos da empresa. Em suma, o conceito fundamental e resumido da RCM consiste em “*aplicar a manutenção mais adequada a cada modo de falha*”.

A seguir abordam-se algumas definições de conceitos utilizados no contexto da aplicação RCM.

Função: o que o utilizador deseja que o item ou sistema faça dentro de um padrão de desempenho especificado e podem ser:

- a. Função Principal: gera o objetivo principal do sistema;
- b. Função Secundária: acrescenta objetivos ao sistema;
- c. Função Auxiliar: modifica objetivos do sistema;
- d. Função Supérflua: introduz objetivos desnecessários.

Falha: consiste na interrupção ou alteração da capacidade de um item desempenhar uma função requerida ou esperada. Pode ser classificada sob vários aspectos:

- a. Origem: primária ou secundária;
- b. Extensão: parciais ou completas;
- c. Manifestação: degradações, catastróficas ou intermitentes;
- d. Velocidade: graduais ou repentinhas;
- e. Criticidade: críticas e não críticas;
- f. Idade: prematura, aleatórias ou progressivas.

Modos de Falha: um evento ou condição física que causa uma falha funcional ou um dos possíveis estados de falha de um item para uma dada função requerida. O modo de falha está associado ao evento ou fenômeno físico que provoca a transição do estado normal para o estado anormal.

Causa das Falhas: o modo descreve o que está errado na funcionalidade do item. Já a causa descreve porque razão está errada a funcionalidade do item. Do ponto de vista do RCM as falhas podem ser classificadas conforme apresentado na figura 6.



Figura 6 - Classificação de falhas segundo RCM
 (Fonte: Siqueira, 2005).

Efeitos das Falhas: o efeito é o que acontece quando um modo de falha se apresenta. Podem ser classificados sob vários aspectos (Siqueira, 2005).

- Efeito Catastrófico:* se a falha pode causar a morte de seres humanos, ou perda do sistema principal, ou dano ao meio ambiente.
- Efeito Crítico:* se a falha pode causar ferimento severo ou mesmo a morte, ou dano significante no sistema ou no meio ambiente, resultando na perda da missão da instalação.
- Efeito Marginal:* se a falha causar ferimento leve ou dano de pequeno porte no sistema ou no meio ambiente, resultando em demora ou degradação de sua missão.
- Efeito Mínimo:* se a falha provoca consequências reduzidas na operação, meio ambiente e segurança abaixo dos níveis máximos permitidos pelas normas legais, demandando recursos económicos mínimos para restauração da condição original.
- Efeito Insignificante:* se a falha causa ferimentos em seres humanos ou danos ao sistema, ou impactos no meio ambiente insuficientes para infringir qualquer norma ambiental.

De acordo com Siqueira (2005), segundo a metodologia RCM, apenas os modos de falha com efeitos considerados inaceitáveis e intoleráveis, na escala de aceitabilidade do risco, serão considerados nas etapas seguintes do processo RCM. Os demais modos de falha, classificados como toleráveis ou desprezíveis na escala de aceitabilidade, serão apenas documentados no estudo de FMEA que incorpora o processo RCM.

Consequências das Falhas: segundo a RCM, uma função será significante se uma falha funcional vier a provocar efeito adverso no sistema principal, com consequências para a segurança, meio ambiente, operação e economia.

Lógica de Seleção: para escolher as funções significativas, o RCM utiliza uma lógica simples de seleção, que leva em conta não só estes critérios, como também se já existe alguma atividade de manutenção orientada para a falha funcional. Segundo esta lógica, uma função será significativa se a sua falha afetar a operação, o meio ambiente, a segurança física ou a economia do processo, ou se já existir alguma atividade de manutenção preventiva. Esta última condição garante que qualquer função protegida por uma tarefa de manutenção existente será reavaliada pelo RCM, independentemente dela impactar os demais aspectos, conforme visualizado na figura 7.

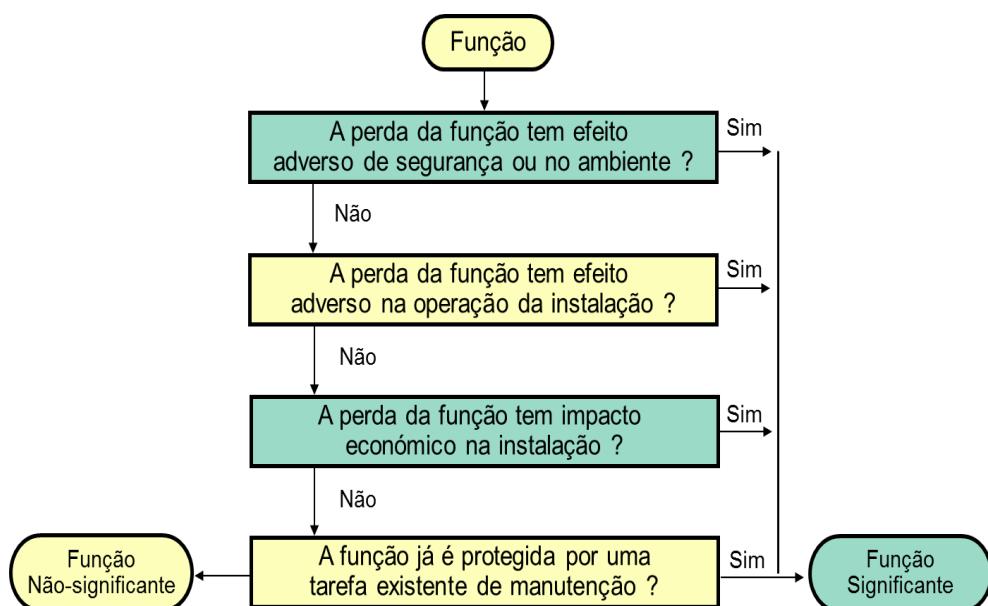


Figura 7 - Diagrama lógico de seleção RCM
(Fonte: Siqueira, 2005).

Níveis de Decisão: o processo decisório no RCM ocorre em três níveis, associados, respetivamente, às causas, efeitos e consequências das falhas.

- Nível 1: avalia cada modo de falha de acordo com a visibilidade dos efeitos produzidos.
- Nível 2: avalia as consequências da falha indentificando se tem implicação na segurança e na economia/operação da instalação.
- Nível 3: avalia as causas de cada modo de falha para selecionar o tipo de atividade de manutenção que seja aplicável e efetiva.

Critérios de Decisão: a lógica de decisão requer que os preceitos a seguir sejam considerados, para cada modo de falha:

- Visibilidade da falha funcional para a equipa de operação;
- Consequência da falha para a instalação;
- Visibilidade da falha potencial para a equipa de operação;
- Causa e mecanismo de falha;
- Impactos económicos, ambientais e de segurança.

Para levar a cabo o processo decisório, cada modo de falha é inicialmente avaliado quanto à sua visibilidade e consequência, e classificado através de uma árvore de decisão. A figura 8 mostra, de forma mais detalhada, esta etapa. Entretanto, para a classificação ocorrer, questões importantes necessitam ser respondidas:

- A falha é evidente?
- Se a falha é evidente, afeta a segurança/ambiente?
- Se a falha é oculta, afeta a segurança/ambiente?



Figura 8 - Diagrama de decisão RCM
(Fonte: Siqueira, 2005).

- ESA - Falha evidente com consequência na segurança e ambiente
- OSA - Falha oculta com consequência na segurança e ambiente
- EEO - Falha evidente com consequência operacional e económica
- OEO - Falha oculta com consequência operacional e económica.

O estudo das consequências das falhas e a escolha das funções significativas de uma instalação são os requisitos exigidos pelo RCM para selecionar as atividades de manutenção aplicáveis. Além disso, para que uma atividade de manutenção seja aplicável a um modo de falha, ela deve assegurar um conjunto de requisitos de natureza técnica e de ordem prática. Segundo a RCM, uma atividade de manutenção, para ser aplicável, deve garantir um dos seguintes objetivos:

- Prevenir modos de falha
- Reducir a taxa de deterioração
- Detetar a evolução das falhas
- Descobrir falhas ocultas

5. Suprir necessidades e consumíveis do processo
6. Reparar o item após a falha.

Para estudar a aplicabilidade das tarefas de manutenção, é usual dividi-las em atividades programadas (executadas em intervalos pré-determinados) e não programadas (executadas quando ocorrem defeitos ou falhas funcionais).

A metodologia RCM não substitui o enfoque da manutenção tradicional, ou seja, aquelas atividades preventivas, preditivas, reformas, etc., constituindo-se, assim, em mais uma ferramenta para auxiliar a gestão. A figura 9 abaixo resume e sintetiza as atividades de manutenção preconizadas por esta metodologia.

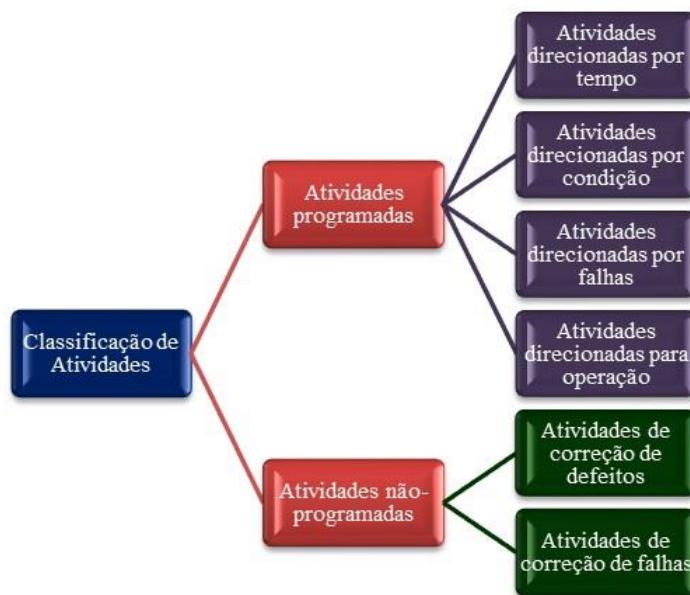


Figura 9 - Classificação de atividades
(Fonte: Siqueira, 2005; Moubray, 2000).

A atividades programadas e não-programadas são discutidas a seguir:

I. Atividades Programadas

- Atividades Direcionadas por tempo;
- Atividades direcionadas por condição;
- Atividades direcionadas por falhas;
- Atividades direcionadas para operação.

Atividades direcionadas por tempo: devem ser executadas em datas ou ciclos limites de operação. São adequadas para modos de falha com desgastes progressivos ou vida útil previsível, para as quais é possível antecipar o instante futuro da falha.

Atividades direcionadas por condição: são recomendadas para modos de falhas observáveis e evolutivos. As técnicas preditivas são utilizadas largamente nestes casos, quando se consegue detetar a evolução futura da falha.

Atividades direcionadas por falhas: destina-se essencialmente a descobrir a ocorrência de modos de falha ocultos, visando evidenciar a sua existência e prevenir a sua evolução para falhas múltiplas.

Atividades direcionadas por operação: visam suprir o processo de materiais consumíveis, tais como combustíveis e lubrificantes, e preservar o ambiente da instalação, tais como limpeza e conservação de iluminação, etc. por serem atividades simples e de alta frequência, são recomendadas para execução pela própria equipa de operação.

II. Atividades Não programadas

- Atividades de correção de defeitos;
- Atividades de correção de falhas.

Atividades de correção de defeitos: são executadas quando se identifica um estado de deterioração funcional, visando corrigir o defeito antes de sua evolução para uma falha. Abaixo, seguem algumas formas de realizar esta identificação.

- ✓ Pela manutenção programada
- ✓ Por uma análise de dados e desempenho operacional
- ✓ Pela equipa de operação.

Atividades de correção de falhas: são executadas após uma falha, visando restaurar, substituir ou repor a capacidade funcional do item.

Siqueira (2005) faz uma indicação de que tipo de manutenção pode ser efetuada em função da evolução de uma falha, conforme demonstrado na tabela 2.

Tabela 2 - Tipo de manutenção por comportamento da falha: exemplos de aplicação.

Evolução da Falha	Ação	Tipo de Manutenção
Estável	Nenhuma	Desnecessária
Mensurável	Detetar	Inspeção Preditiva
Previsível	Antecipar	Restauração ou Substituição
Controlável	Controlar	Serviço Operacional
Invisível	Descobrir	Inspeção Funcional
Visível	Corrigir	Manutenção Corretiva
Incontrolável	Reparar	Resumo Funcional

(Fonte: Siqueira, 2005).

As atividades desenvolvidas na etapa de aplicação da metodologia podem ser visualizadas nas tabelas 3 e 4, que consiste num exemplo de aplicação em escadas rolantes de um terminal de metro, onde se observa o *Formulário de Informação do RCM* e o *Formulário de Decisão do RCM*, respetivamente.

No formulário de Informação é aplicada a metodologia FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) para definir a função, falha funcional e os respetivos modos de falha associados ao equipamento estudado, conforme apresentado em detalhes na tabela 4.

Moubray (2000) destaca que as funções e falhas funcionais de qualquer ativo são influenciadas pelo seu contexto de operação. Isto é válido, também, para as causas, probabilidades de ocorrência e consequências dos modos de falha. O contexto de operação afeta o nível de análise tanto quanto as causas e consequências das falhas.

Tabela 3 - Exemplo de formulário de informação RCM.

Planilha de Informação do RCM				
Função		Falha Funcional	Modo de Falha (Causa da Falha)	Efeito da Falha (O que acontece quando falha)
1	Transportar pessoas de um pavimento a outro com conforto e segurança.	A Interromper o funcionamento da escada impedindo o transporte de pessoas.	1 Redutor travado.	Para a escada por sobrecarga (E26) ou subvelocidade (E29) do motor indicando na S.S.O. \"ER parada\", a paragem brusca da escada pode causar a queda do utilizador. Cabe ao operador reposicionar estratégicamente as demais escadas para facilitar o fluxo da estação, dando preferência para que as ERs fiquem no sentido de subida. Afeta a imagem da Cia. Deverá ser aberta uma ocorrência nível B, tendo a Manutenção até 2 horas para atendimento. A substituição do redutor demanda 5 dias. O tempo de reparação do redutor em oficina é de 1 mês.
			2 Atuação da linha de segurança	Provoca o desligamento da ER sinalizando no display o evento e indicando na S.S.O. \"ER Parada\". Serão tratadas em estudos separados.
			3 Falta de alimentação principal	Este tipo de falha é independente do projeto da ER podendo ser causado por problemas nas S/E ou na concessionária. Provoca o desligamento da ER dificultando o controlo de fluxo da estação. Sinaliza falta de tensão E20, indicando na S.S.O. \"ER parada\". É necessário reiniciar a ER após a normalização da alimentação elétrica, para colocá-la em funcionamento.
			4 Falta de alimentação do circuito de comando	Corta a alimentação do relé \"K10\" provocando o desligamento da ER, sinalizando falta de tensão (E20), indicando na S.S.O. \"ER parada\". O restabelecimento da ER ocorre com a normalização do circuito. Tempo de liberação 4 horas.
			5 Contator de potência K1.1/1.2 (sobe/desce) queimado.	Interrompe a linha de segurança impedindo o funcionamento da ER, sinalizando desgaste do freio (E30), não liberando o freio de serviço e indicando na S.S.O. \"ER parada\", sendo necessária a substituição do contator. Tempo de liberação 3,5 horas.

(Fonte: Moubray, 2000).

O Formulário de Decisão é apresentado em detalhes na tabela 4 por meio de um exemplo prático desenvolvido para a aplicação da metodologia. As colunas H, S, E, O e N são usadas para registar as respostas às questões referentes às consequências de cada modo de falha, ou seja se a perda da função causada por algum modo de falha afeta o pessoal da operação, segurança, meio ambiente ou capacidade operacional. As colunas H1, H2, H3, etc. registam se uma tarefa pró-ativa foi selecionada e, se foi, que tipo de tarefa. Se for necessário responder a algumas questões padrão, as colunas H4 e H5 ou S4 são usadas para registrar as respostas. As demais colunas registam a tarefa que foi selecionada, a frequência com que é feita e quem foi selecionado para fazê-la. A coluna "tarefa proposta" é também usada para registrar os casos onde o reprojeto é exigido ou foi decidido que o modo de falha não necessita de manutenção programada.

Tabela 4 - Exemplo de formulário de decisão RCM.

Planilha de Decisão RCM																					
Referência da Informação			Avaliação das Consequências				H1 S1 O1 N1			H2 S2 O2 N2			H3 S3 O3 N3			Tarefas Padrão			Tarefa Proposta	Frequência Inicial	Pode ser feita por
F	FF	FM	H	S	E	O	H4	H5	S4												
1	A	1	S	S			S									Tarefa sob condição - Análise de vibração do conjunto moto-redutor.	6 MESES	PREDITIVA			
1	A	3	S	N	N	S	N	N	N							Nenhuma manutenção programada					
1	A	4	S	N	N	S	N	N	N							Nenhuma manutenção programada					
1	A	6	S	N	N	S	S									Tarefa sob condição - Inspeção termográfica do painel	6 MESES	PREDITIVA			
1	A	7	S	N	N	S	S									Tarefa sob condição - Inspeção termográfica do painel	6 MESES	PREDITIVA			
1	A	10	S	S			N	N	N				N			É obrigatório reprojetar					
1	A	11	S	S			N	N	N				N			É obrigatório reprojetar					
1	B	1	N				N	N	N	S						Tarefa programada de localização de falha - A tarefa é realizada diariamente pela Operação, no início e final da operação comercial.	DIÁRIO	OPERAÇÃO			
1	D	1	S	S			N	S								Tarefa programada de recuperação - Inspeção dos pentes	DIARIO	OPERAÇÃO			
1	D	2	S	N	N	N	N	S								Tarefa programada de recuperação - Inspeção dos frisos dos degraus.	30 DIAS	ELETROMECÂNICO			
1	D	14	N				N	S								Tarefa programada de recuperação - Efetuar o teste funcional dos relés.	6 MESES	ELETROMECÂNICO			
1	D	15	N				N	S								Tarefa programada de recuperação - Efetuar as inspeções dos roletes quanto a desgaste/trincas	6 MESES	ELETROMECÂNICO			

(Fonte: Moubray, 2000).

Para Moubray (2000), a aplicação do RCM leva a uma compreensão mais precisa das funções dos ativos, que devem ser revistos de um ponto de vista científico, para identificar o que deve ser feito para fazê-los continuar a preencher as funções pretendidas. O autor afirma que a análise não será perfeita se a evolução da política de manutenção for imprecisa, ou seja, se as decisões que devem ser tomadas forem baseadas em dados incompletos ou não existentes, sobretudo acerca da relação entre idade e falha, bem como sobre as decisões que devem ser tomadas sobre a probabilidade e as consequências dos modos de falhas que ainda não aconteceram e que podem não acontecer em nenhum momento durante o ciclo de vida do ativo. Neste cenário, alguns efeitos e modos de falha podem ser ignorados por completo e, por outro lado, algumas consequências de falha e frequências de tarefas podem ser avaliadas incorretamente.

Outro fator de risco apontado pelo autor está no facto dos ativos poderem mudar continuamente. Isso quer dizer que, mesmo que parte da análise esteja completamente válida no momento presente, esta pode tornar-se inválida no futuro, somado ao facto de que as pessoas envolvidas no processo também podem mudar.

Assis (2010) argumenta que ao longo dos últimos anos surgiram algumas adaptações/simplificações do RCM, sendo que uma delas é conhecida por PMO - *Preventive Maintenance Optimization*, a qual não se encontra enquadrada em qualquer norma. Assis (2010) sustenta ainda que, ao contrário do RCM, o qual parte da descrição exaustiva de todos os modos de falha possíveis das funções enumeradas, o PMO parte do programa já existente de manutenção e descreve os modos de falha que aquele pretende prevenir. Para Al-Mishari e Suliman (2008) e Turner (2005) o PMO é um método muito similar à RCM. Já Dunn (2005) aponta para um ponto crítico relativamente ao PMO, que reside no facto de que ela pode não considerar uma função importante do sistema durante a análise, pois a mesma não é tão profunda quanto aquela realizada quando se aplica o RCM no estudo do modo de falha.

Al-Mishari e Suliman (2008) indicam que a aplicação do RBI - *Risk Based Inspection* baseia-se na avaliação do risco, determinado considerando as consequências e probabilidade de falha do equipamento. O objetivo desta metodologia é otimizar os esforços de inspeção e manutenção, de modo a minimizar o risco e é geralmente aplicada para equipamentos estáticos e tradicionalmente orientado para aplicação em segurança. No RBI, o valor relativo do risco é a base para priorizar as atividades de inspeção e manutenção.

Pinto (2013) estabelece que uma implementação bem-sucedida da manutenção centrada na confiabilidade levará a uma redução efetiva de custos, aumenta a disponibilidade de equipamentos e sistemas e uma melhor compreensão dos riscos.

Pode-se sintetizar os resultados da implementação da RCM em duas categorias: *resultados tangíveis* e *resultados intangíveis*, segundo o exposto na figura 10.



Figura 10 - Resultados esperados com o RCM
(Fonte: Moubray, 2000).

O sucesso da implementação do RCM depende não só da experiência prática e fundamentação teórica dos seus processos, mas também da adequação dos meios organizacionais e do planeamento utilizado. Por ser uma metodologia bem estruturada, exige-se um nível compatível de organização dos processos administrativos e de suporte, especialmente na aplicação a sistemas industriais complexos, sem os quais estarão comprometidos os resultados esperados.

3.1.3 Análise da Fiabilidade

Gulati (2009) afirma que *Fiabilidade* é um termo amplo que se concentra na capacidade de um ativo para executar a função pretendida para apoio à produção ou fornecer um serviço. Além disso, é importante esclarecer que o RCM é uma metodologia pró-ativa que utiliza princípios de fiabilidade para identificar a atividade de manutenção mais apropriada a ser realizada para manter o ativo na condição desejada, de modo a manter a sua performance e a sua condição de funcionamento.

Melhorar a fiabilidade do ativo é importante para o sucesso de qualquer organização, em particular para melhorar o desempenho das atividades de operação ou produção. Num sentido mais amplo, fiabilidade está associada à operação bem-sucedida de um produto ou sistema, na ausência de quebras ou falhas o que, na engenharia, é definida de forma quantitativa em termos de probabilidade.

A *manutibilidade* é outro termo relevante para a manutenção dos equipamentos. Para Assis (2010), a manutibilidade é essencialmente uma característica de conceção e fabricação e o enfoque está em conceber um sistema ou um equipamento que, em caso de falha, seja reparado o mais rapidamente possível. A norma NP EN13306:2007 define o termo manutibilidade como sendo a aptidão de um bem, sob condições de utilização definidas, para ser mantido ou restaurado, de tal modo que possa cumprir uma função requerida, quando a manutenção é realizada em condições definidas, utilizando procedimentos e recursos prescritos.

Para Pereira e Sena (2012), se a fiabilidade está relacionada com a variabilidade e com as situações dos sistemas ao longo do tempo, então uma das vertentes que relaciona a fiabilidade com a manutenção corresponde aos períodos durante os quais os sistemas reparáveis não estão em condições de funcionar, implicando maior ou menor *disponibilidade*. A manutibilidade tem influência na disponibilidade.

Fogliato e Ribeiro (2009) fazem um importante esclarecimento a respeito de algumas pequenas interpretações equivocadas que comumente ocorrem entre os conceitos de *Fiabilidade* e *Qualidade*. Na realidade, o que as distingue é que a fiabilidade incorpora a passagem do tempo, ao passo que a qualidade consiste nas características estáticas de um item. Segundo os autores, os principais conceitos associados à fiabilidade são: qualidade, disponibilidade, manutibilidade, segurança e confiança.

Pereira e Sena (2012) citam a norma AFNOR X50-109, onde a fiabilidade aparece como uma componente da qualidade juntamente com: características e desempenhos, manutibilidade, disponibilidade, durabilidade, segurança, características não poluentes e custo global de posse. A qualidade procura garantir a fiabilidade dos bens produzidos, visto que a não fiabilidade tem custos elevados, pois pode implicar: a devolução do produto, a perda de mercado, degradação da imagem da marca e manutenção mais cara.

O anexo I apresenta o conceito de fiabilidade, disponibilidade e manutibilidade definidas por alguns autores.

3.1.3.1 Conceito de falha

A falha é definida como “*um estado físico anormal de um sistema que seja uma ameaça para a operação do mesmo. Como anormalidade, entendemos o desvio de algum parâmetro mensurável além dos limites do que o projeto e a experiência consideram aconselhável para uma operação normal*”, Lafraia (2001). Moubray (2000) define falha como a incapacidade de qualquer ativo fazer o que seu utilizador quer que ele faça.

Segundo Lafraia (2001), em geral existem três tipos básicos de falha, de acordo com sua evolução em relação ao tempo:

- *Falhas precoces – Infância (ou Mortalidade Infantil)*: anormalidades de fabricação; projeto defeituoso; uso demasiadamente intenso. Falhas precoces podem ser totalmente depuradas através de um controle rigoroso na fabricação e também mediante testes antes do envio do produto ao consumidor (*burn-in*).
- *Falhas casuais – Vida Útil*: falhas que se apresentam de forma inesperada, ao acaso, a intervalos de tempo irregulares. Pico de concentrações de “tensões” aleatórias, que atuam sobre algum ponto fraco e produz a quebra. Não é fácil a eliminação desse tipo de falha, mas, em alguns casos, existem técnicas que o permitem fazer através de um projeto de acompanhamento de componentes adequados.
- *Falhas por desgaste – Velhice*: esse tipo de falha acontece devido ao envelhecimento do equipamento, e pode ser causada por desgaste real, por uma perda de características importantes (elasticidade, solubilidade, etc.) ou degeneração das mesmas. Pode-se em alguns casos reduzir ou eliminar o efeito das falhas por desgaste, mediante a realização de ações preventivas.

Esses tipos de falhas estão representados na curva da vida, mais conhecida como *Curva da Banheira ou Bathtub Curve* (figura 11). A caracterização das falhas pode ser visualizada na tabela 5.



Figura 11 - Resultados esperados com o RCM
(Fonte: Moubray, 2000).

Tabela 5 - Falhas típicas associadas às etapas da Curva da Banheira.

Descrição das Etapas da Curva da Banheira		
Falhas Prematuras	Falhas Casuais	Falhas Por Desgaste
Processo de fabricação deficiente	Interferência indevida tensão/resistência	Envelhecimento
Controlo de qualidade deficiente	Fator de segurança insuficiente	Desgaste/abrasão
Mão-de-obra desqualificada	Cargas aleatórias maiores que as esperadas	Degradação de resistência
Amaciamento insuficiente	Resistência menor do que a esperada	Fadiga
Pré-teste insuficiente	Defeitos abaixo do limite de sensibilidade dos ensaios	Fluência
Debugging insuficiente	Erros humanos durante o uso	Corrosão
Materiais fora de especificação	Aplicação indevida	Deterioração mecânica, elétrica, química ou hidráulica.
Componentes não especificados	Abusos	Manutenção insuficiente ou deficiente
Componentes não testados	Falhas não detetáveis pelo programa de manutenção preventiva	Vida de projeto muito curta
Componentes que falharam devido a estocagem/transporte indevido	Falhas não detetáveis durante o debugging	
Sobrecarga no primeiro teste	Causas inexplicáveis	
Contaminação	Fenómenos naturais imprevisíveis	
Erro humano		
Instalação imprópria		

Sales (2008) sustenta que a fiabilidade, em geral, está preocupada com os três períodos da curva. A complexidade dos equipamentos leva a avaliar consideráveis mudanças na natureza das falhas e alguns destes padrões de falha podem ser observado na figura 12.

Para Siqueira (2005), os sistemas industriais evoluem na curva da banheira segundo várias características. Lafraia (2001) ressalta que pode não existir alguma fase, passando-se, por exemplo, da mortalidade infantil para a senil, diretamente.

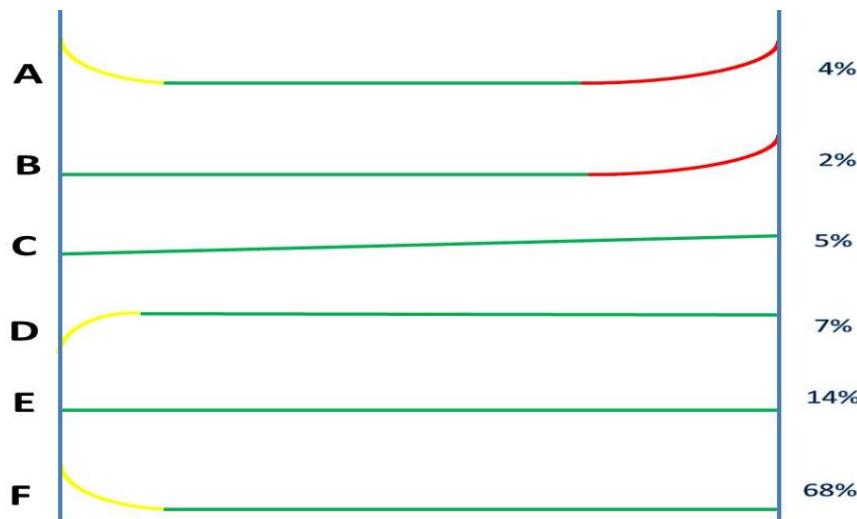


Figura 12 - Natureza dos padrões de falhas
(Fonte: Lafraia, 2001).

Na figura 12, a probabilidade condicional de falhas é traçada em função do tempo de operação para uma grande variedade de itens mecânicos e elétricos. O padrão de falha A é a tradicional curva da banheira, exposta acima. O padrão de falha B mostra uma taxa de falhas gradualmente crescente e uma zona de desgaste acentuado. O padrão de falha C mostra uma taxa de falhas levemente crescente, mas sem uma zona definida de desgaste. O padrão de falha D mostra uma taxa de falhas baixa quando o item é novo ou recém-saído de fábrica e possui um patamar de taxa de falhas constante. O padrão de falha E mostra uma taxa de falhas constante durante toda a vida do item. O padrão de falha F inicia com uma redução súbita da taxa de falhas, que permanece posteriormente constante ao longo do período. Os valores percentuais atribuídos a cada padrão de falha foram obtidos a partir de estudos feitos em aviões civis. Equipamentos de outros segmentos industriais não se comportam necessariamente desta forma. Entretanto, à medida que a complexidade dos equipamentos cresce, os padrões de falhas E e F tornam-se mais predominantes.

3.1.3.2 Medidas de Fiabilidade

Para Assis (2010), um sistema é constituído por diversos componentes, e o seu funcionamento pode ser considerado em série, em paralelo ou, de forma combinada,

em série-paralelo. Conforme o autor, um sistema em série falha se qualquer um dos seus componentes falhar e um sistema em paralelo só falha se todos os seus componentes falharem. Além disso, o autor define os sistemas como sendo *reparáveis* e *não reparáveis*. Um sistema é *reparável* quando é reposto nas condições que lhe permita continuar a cumprir as funções que lhe foram atribuídas, até a próxima falha. O sistema é *não reparável* quando, após sofrer uma falha, é substituído por outro igual e descartado.

Fogliatto e Ribeiro (2009) indicam algumas das medidas de fiabilidade comumente usadas para unidades não reparáveis:

- i. A função fiabilidade $R(t)$;
- ii. A função de risco $h(t)$;
- iii. O tempo médio até à falha, $MTTF$ (*mean time to failure*).

Função Fiabilidade

A função fiabilidade $R(t)$ consiste na probabilidade de a unidade apresentar sucesso na operação, isto é, ausência de falhas, no intervalo de tempo $(0,t)$ e ainda estar funcionando no tempo t . A função de fiabilidade $R(t)$ é também denominada função de sobrevivência. Suponha n_0 unidades idênticas submetidas a um teste em condições predefinidas. Decorrido o intervalo $(t, t + \Delta t)$, $n_f(t)$ unidades falharam e $n_s(t)$ unidades sobreviveram, tal que $n_f(t) + n_s(t) = n_0$. A fiabilidade da unidade é definida como a sua probabilidade acumulada de sucesso. Assim, em um tempo t , a função de fiabilidade $R(t)$ é:

$$R(t) = \frac{n_s(t)}{n_f(t) + n_s(t)} = \frac{n_s(t)}{n_0} \quad (3.1)$$

Considerando a variável aleatória T , a função de fiabilidade para um determinado tempo t pode ser expressa da seguinte forma:

$$R(t) = P(T > t) \quad (3.2)$$

A função distribuição de T , $F(t)$, é o complemento de $R(t)$, ou seja:

$$R(t) = 1 - F(t) = 1 - \int_0^t f(u) du = \int_t^{+\infty} f(u) du \quad (3.3)$$

Função de Risco

Para Fogliatto e Ribeiro (2009), a *função de risco* $h(t)$ é bastante útil na análise do risco a que uma unidade está exposta ao longo do tempo, servindo como base de comparação entre unidades com características distintas. Tal função pode ser interpretada como a quantidade de risco associada a uma unidade no tempo t e também é conhecida como *taxa de falha*. A função de risco pode ser derivada usando a probabilidade condicional. Considerando, inicialmente, a probabilidade de falha entre t e $t + \Delta t$, dada por:

$$P(t \leq T \leq t + \Delta t) = \int_t^{t+\Delta t} f(u)du = R(t) - R(t + \Delta t) \quad (3.4)$$

Supondo a condição de que a unidade está operacional no tempo t , vem:

$$P(t \leq T \leq t + \Delta t | T \geq t) = \frac{P(t \leq T \leq t + \Delta t)}{P(T \geq t)} = \frac{R(t) - R(t + \Delta t)}{R(t)\Delta t} \quad (3.5)$$

A taxa de falha instantânea, que é a função de risco, é dada pela expressão:

$$\Delta t \rightarrow 0 \cong h(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{R(t) - R(t + \Delta t)}{R(t)\Delta t} = \frac{-\frac{dR(t)}{dt}}{R(t)} = \frac{f(t)}{R(t)}, t \geq 0 \quad (3.6)$$

Também se pode estabelecer a seguinte relação entre $f(t)$ e a função de risco $h(t)$:

$$f(t) = h(t) e^{-\int_0^t h(u)du}, t \geq 0 \quad (3.7)$$

Por fim, integrando a função de risco sobre um período de tempo, obtem-se a função de risco acumulada $H(t)$:

$$H(t) = \int_0^t h(u)du, t \geq 0 \quad (3.8)$$

Para Fogliatto e Ribeiro (2009), a forma da função de risco é um indicativo da maneira como uma unidade envelhece. Além disso, a função de risco pode ser classificada em três categorias:

- i. Função de risco crescente, onde a incidência de risco cresce com o tempo;
- ii. Função de risco decrescente, onde a incidência de risco decresce com o tempo;
- iii. Função de risco constante ou estacionária, em que a unidade está exposta a uma mesma quantidade de risco em qualquer momento no tempo.

A definição de fiabilidade de uma unidade é dada em termos de sua probabilidade de sobrevivência até um tempo t de interesse e a determinação desta probabilidade é possível através da modelagem dos tempos até à falha da unidade em estudo. Se a distribuição de probabilidade que melhor se ajusta a esses tempos for conhecida, é possível estimar a probabilidade de sobrevivência da unidade para qualquer tempo t , bem como outras medidas de fiabilidade. Várias distribuições de probabilidade podem ser utilizadas para modelar a distribuição de probabilidade do tempo de vida de um componente. Segundo Lopes (2007), as mais comuns são a distribuição *Exponencial Negativa*, a distribuição *Normal* e a distribuição de *Weibull*. Fogliato e Ribeiro (2009) entendem que as principais distribuições de probabilidade frequentemente utilizadas para descrever tempos até à falha de componentes e sistemas são a distribuição *Exponencial Negativa*, a distribuição de *Weibull*, a distribuição *Gama* e a distribuição *Lognormal*.

As distribuições de probabilidade usadas em estudos de fiabilidade podem apresentar até três parâmetros, classificados de (a) *localização*, (b) *escala* e (c) *forma*. *Parâmetros de localização* são usados para deslocar a distribuição de probabilidade ao longo do eixo do tempo, sendo também conhecidos como parâmetros de vida mínima ou garantia. *Parâmetros de escala* são usados para expandir ou contrair o eixo do tempo. Os *parâmetros de forma* são assim designados por afetarem a forma da função densidade. A figura 13 mostra as expressões definidas para as distribuições *Exponencial*, *Weibull*, *Gama* e *Lognormal* assim como a função fiabilidade $R(t)$, a função de risco $h(t)$ e tempo médio até a falha (MTTF).

Distribuição	$f(t)$	$R(t)$	$h(t)$	MTTF
Exponencial	$\lambda e^{-\lambda t}$	$e^{-\lambda t}$	λ	$\frac{1}{\lambda}$
Weibull	$\frac{\gamma}{\theta} t^{(\gamma-1)} e^{-\left(\frac{t^{\gamma}}{\theta}\right)^{\gamma}}$	$e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^{\gamma}}$	$\frac{\gamma}{\theta} \left(\frac{t}{\theta}\right)^{\gamma-1}$	$\theta \Gamma\left(1+\frac{1}{\gamma}\right)$
Gama	$\frac{\lambda}{\Gamma(\gamma)} (\lambda t)^{\gamma-1} e^{-\lambda t}$	$1 - \frac{1}{\Gamma(\gamma)} \int_0^t x^{(\gamma-1)} e^{-\lambda x} dx$	$\frac{f(t)}{R(t)}$	$\frac{\gamma}{\lambda}$
Lognormal	$\frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{1}{2} \left[\frac{(\ln t - \mu)^2}{\sigma^2} \right]}$	$\Phi\left(\frac{\mu - \ln t}{\sigma}\right)$	$\frac{\phi\left(\frac{\mu - \ln t}{\sigma}\right)}{\Phi\left(\frac{\mu - \ln t}{\sigma}\right)}$	$e^{\frac{(\mu + \sigma^2)}{2}}$

Figura 13 - Medidas de fiabilidade para distribuições mais comuns
(Fonte: Fogliatto & Ribeiro, 2009).

Tempo médio até à falha

Por tempo até à falha de uma unidade entende-se o tempo decorrido desde o momento em que a unidade é colocada em operação até à sua primeira falha. Por convenção adota-se $t=0$ como início da operação do sistema e, por estar sujeito a variações aleatórias, o tempo até à falha é definido como uma variável aleatória, aqui designada de T .

Pressupondo uma variável aleatória T distribuída continuamente, com densidade de probabilidade dada por $f(t)$, a função de distribuição será dada por:

$$F(t) = P(T \leq t) = \int_0^t f(u)du, t > 0 \quad (3.9)$$

A função $F(t)$ denota, então, a probabilidade de falha da unidade numa missão de duração menor ou igual a t . A densidade de probabilidade $f(t)$ é definida como:

$$f(t) = F'(t) = \frac{d}{dt} F(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{F(t + \Delta t) - F(t)}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P(t < T \leq t + \Delta t)}{\Delta t} \quad (3.10)$$

O tempo médio até à falha de uma unidade pode ser definido da seguinte forma:

$$MTTF = E(T) = \int_0^{+\infty} t f(t)dt \quad (3.11)$$

Sendo $f(t) = -R'(t)$, uma expressão alternativa para o MTTF pode ser obtida:

$$\begin{aligned} MTTF &= - \int_0^{+\infty} t R'(t) dt = -[t R(t)]_0^\infty + \int_0^\infty R(t) dt \\ MTTF &= \int_0^\infty R(t) dt \end{aligned} \quad (3.12)$$

Assis (2010) ressalta que é importante diferenciar o significado entre dois indicadores de tempo de falhas, o *MTTF* e o *MTBF*. Enquanto o *MTTF* usa-se no caso de sistemas não reparáveis, o *MTBF* usa-se no caso de sistemas reparáveis.

3.1.3.3 Fiabilidade de Sistemas

Um equipamento pode ser visto como um sistema porque é um conjunto de elementos e componentes dispostos de uma forma lógica que, quando combinados, produzem uma determinada função e a fiabilidade do sistema depende fundamentalmente da fiabilidade dos componentes presentes (Pinto, 2013).

O tipo de componente, sua quantidade, sua qualidade e seu arranjo no sistema tem efeito direto na fiabilidade do mesmo. Fogliatto e Ribeiro (2009) definem um sistema como todo o conjunto de componentes interconectados segundo um projeto predeterminado, de forma a realizar um conjunto de funções de maneira fiável e com bom desempenho.

A mais difundida forma de representação estrutural de um sistema consiste no diagrama de blocos de fiabilidade ou RBD (*Reliability Block Diagram*), e mostra como os componentes estão ligados entre si, de modo a cumprir a função do sistema. O modelo de fiabilidade dos componentes é usado para obter o modelo de fiabilidade de um dado sistema. Uma vez criado o RBD, este pode ser analisado a fim de se determinar a fiabilidade do sistema. As configurações mais utilizadas são:

- *Sistema-série*: arranjo físico no qual, quando um componente falha, todo o sistema falha. A expressão para se determinar a fiabilidade R de sistemas em série é a seguinte, generalizando para n componentes diferentes:

$$R_s = \prod_{i=1}^n R_i \quad (3.13)$$

- *Sistema-paralelo*: arranjo físico no qual quando um componente falha, o sistema ainda mantém a sua operação, perdendo capacidade. Este tipo de sistema só falha se todos os seus elementos falharem. A expressão para se determinar o valor da fiabilidade de sistemas em paralelo é a seguinte, generalizando para n componentes diferentes:

$$R_s = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - R_i) \quad (3.14)$$

- *k-de-n*: arranjo paralelo onde se possui mais itens do que realmente é necessário para que o sistema cumpra a sua função básica, muito embora todos sejam úteis. n é o número total de unidades em paralelo e k é o número mínimo de unidades necessárias para o sucesso do sistema. A equação para se determinar o valor da fiabilidade de sistemas com este tipo de arranjo é a seguinte, generalizando para n componentes diferentes:

$$R_s(k; n, R) = \sum_{i=k}^n \binom{n}{i} R^i (1 - R)^{n-i} \quad (3.15)$$

- *Combinado (série-paralelo e paralelo-série)*: Os sistemas do tipo série-paralelo apresentam redundância ao nível de componente, sendo constituídos por n subsistemas em série, os quais possuem m componentes conectados em paralelo. A equação para se determinar o valor da fiabilidade de sistemas em série-paralelo é a seguinte expressão:

$$R_s = \prod_{i=1}^n \left[1 - \prod_{j=1}^m (1 - R_{ij}) \right] \quad (3.16)$$

Os sistemas tipo paralelo-série apresentam redundância ao nível de sistema, sendo constituídos por m subsistemas em paralelo de n componentes conectados em série. A equação para se determinar o valor da fiabilidade de sistemas em paralelo-série é a seguinte expressão:

$$R_s = 1 - \prod_{i=1}^m \left[1 - \prod_{j=1}^n R_{ij} \right] \quad (3.17)$$

$$R_s = 1 - (1 - R^n)^m \quad (3.18)$$

- *Complexo*: é um arranjo onde não se reconhece facilmente se os componentes estão conectados em série ou em paralelo. Arranjo físico no qual a sua modelagem não pode ser obtida como combinação de sistemas mais simples e podemos usar o *método da*

decomposição, o método do Tie Set e do Cut Set, o método da tabela Boolena e o método da tabela de redução.

A figura 14 mostra exemplos de construção das configurações típicas em blocos utilizando o software blocksim.

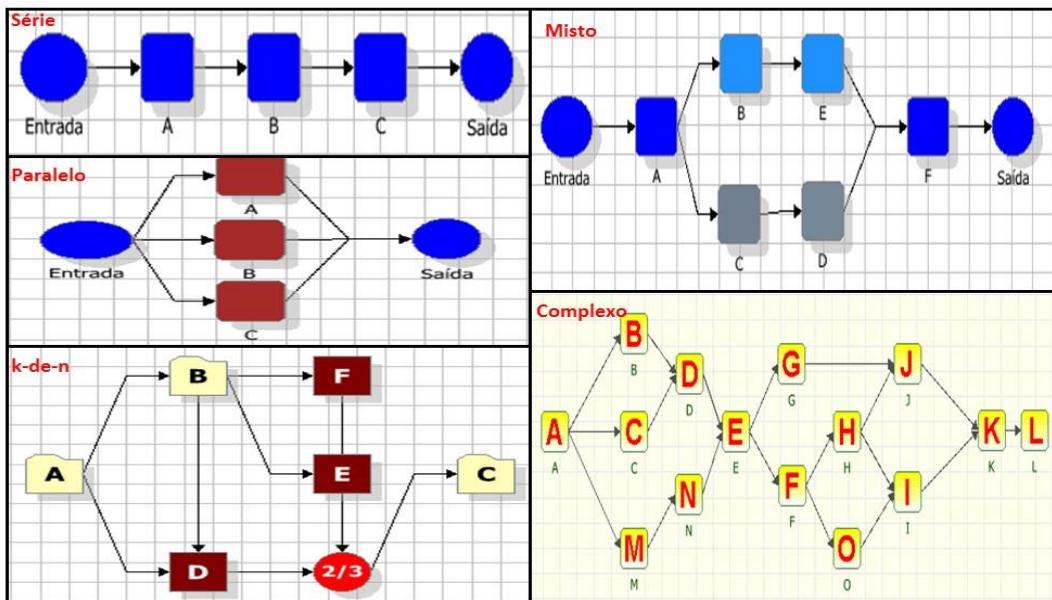


Figura 14 - Configurações típicas de RDB's usando o software Blocksim.

Uma aplicação prática está descrita em Oliveira e Cardoso (2008) onde uma linha de produção foi dividida em áreas. Respeitando a configuração de cada equipamento na linha de produção, para cada área foi obtido o diagrama bloco de fiabilidade, assim como as distribuições de falha para cada equipamento a partir dos respectivos históricos de falhas. Com isso, foi possível estudar e simular a fiabilidade da linha de produção para distintos períodos de tempo, além de fornecer dados para que a área de manutenção pudesse reavaliar a estratégia de manutenção adotada, para cada tipo de equipamento que faziam parte da linha de produção.

Os resultados são apresentados na figura 15. Além disso, foram propostos modelos para otimização do processo com base na redundância dos equipamentos de baixa fiabilidade, para aumentar a fiabilidade do sistema, conforme ilustrado na figura 16.

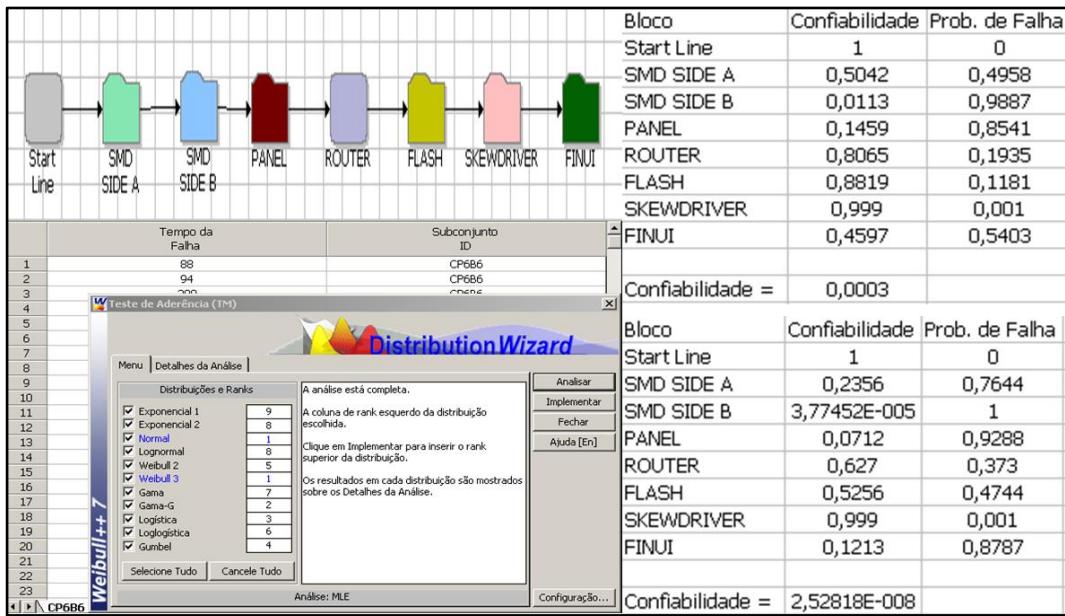


Figura 15 - Determinação da fiabilidade do um processo de manufatura usando o software Blocksim
(Fonte: Oliveira & Cardoso, 2008).

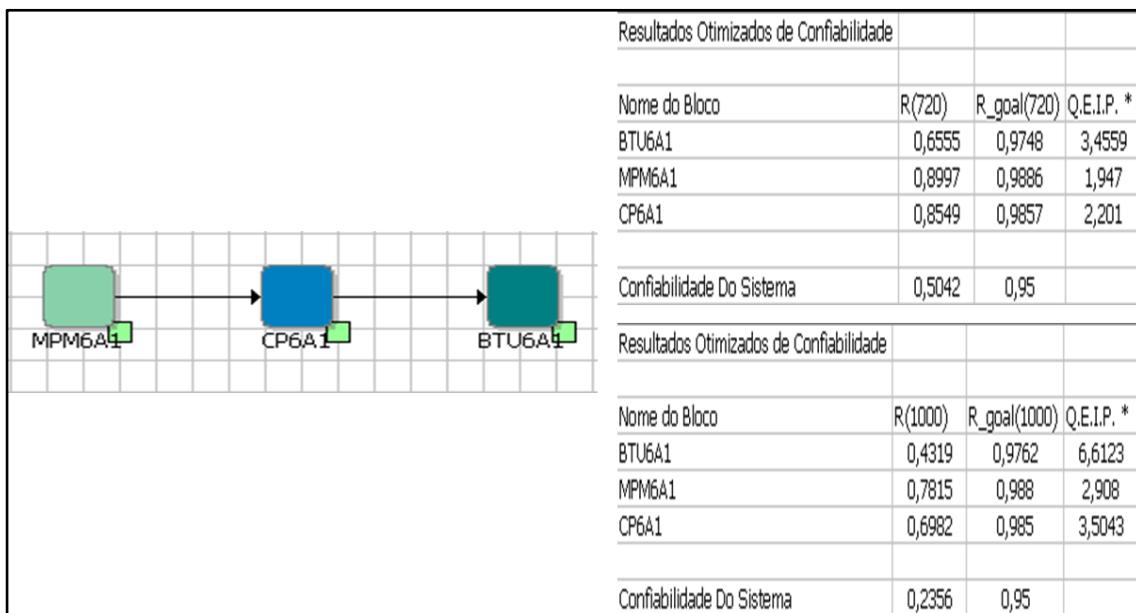


Figura 16 - Otimizando a fiabilidade do processo de manufatura usando o software Blocksim
(Fonte: Oliveira & Cardoso, 2008).

3.1.4 Manutenção Baseada na Condição (CBM)

De acordo com Gulati (2009), na manutenção baseada na condição (CBM), também conhecida como *Manutenção Preditiva (PdM)*, avalia-se a condição de um ativo realizando monitorização periódico ou contínuo de determinados parâmetros do equipamento.

Gits (1992), no seu trabalho relativo ao desenvolvimento de conceitos de manutenção, indica que a manutenção baseada na condição prescreve a iniciação da

manutenção quando se obtém uma condição especificada, ou seja, a decisão de realização de uma intervenção é tomada mediante a avaliação e análise da condição em que o ativo se encontra.

Levitt (1997) sustenta que a manutenção preditiva é uma atividade de manutenção voltada para a identificação do estado de degradação do equipamento e a previsão da ocorrência da falha. Além disso, o autor indica que a aplicação de técnicas de previsão científica comprovadas permite aumentar a fiabilidade do equipamento e reduzir os custos de falhas inesperadas.

Nepomuceno (1989) estabelece que, numa instalação industrial, a manutenção preditiva tem por finalidade estabelecer os parâmetros que devem ser escolhidos em cada tipo de máquina ou equipamento, em função das informações das alterações de tais parâmetros face ao estado mecânico de um determinado componente. O autor sustenta que, com base em tais informações, a análise dos mesmos permitirá que sejam tomadas providências visando evitar estragos de grande importância ou mesmo situações catastróficas irreversíveis.

Além disso, há a necessidade de um elevado nível de organização, para coordenar e analisar uma série apreciável de dados de inspeções que são realizadas periodicamente nos equipamentos.

Pereira (2009), citando a norma ABNT-NBR-5462-1994, define a manutenção preditiva como sendo a manutenção que permite garantir a qualidade de serviço desejada, com base na aplicação sistemática de técnicas de análise, utilizando meios de supervisão centralizados ou de amostragem para reduzir a manutenção preventiva e diminuir a manutenção corretiva.

Levitt (2003) argumenta que antes de se iniciar um programa de manutenção preditiva algumas questões devem ser consideradas:

- Qual é o objetivo do programa de manutenção preditiva?
- A organização está pronta para a manutenção preditiva?
- São as técnicas específicas, as técnicas corretas?
- É este o fornecedor correto?
- Existe alguma outra maneira de lidar com isso em vez de compra equipamentos ou serviços?

Pinto (2013) indica que este tipo de manutenção baseia-se em intervenções efetuadas tendo em conta a análise da condição do equipamento, através da monitorização de parâmetros de funcionamento dos sistemas, tais como temperatura,

vibrações, pressão, ruídos, corrente elétrica, etc., de maneira a permitir prever futuras ocorrências de falhas através da análise de tendências ou comparação com valores-padrão do funcionamento do sistema.

Além disso, é um tipo de manutenção que pode ser realizada com o equipamento em funcionamento. Uma vez que a capacidade de acompanhamento da condição do equipamento é o ponto central da manutenção preditiva, esta pode classificar-se em *manutenção preditiva em regime contínuo* e *manutenção preditiva em regime periódico*.

O controlo em regime contínuo está normalmente aplicado em equipamentos de grande porte, sendo que os parâmetros são registados permanentemente permitindo um acompanhamento contínuo das condições dos equipamentos em tempo real.

O controlo em regime periódico é realizado em períodos fixos, onde periodicamente os parâmetros dos equipamentos são analisados, e quando estes se situam fora dos limites estabelecidos, as ações no equipamento são desenvolvidas. Independentemente do controle adotado, as intervenções só ocorrerão quando os parâmetros de funcionamento alcançarem o nível de alarme.

A implementação da manutenção preditiva implica a medição e análise de vários parâmetros, com a consequente necessidade de aquisição de instrumentos de medição e análise, alteração de métodos convencionais de medição e controle de variáveis controladas por processos inalterados por um longo período.

Para Nepomuceno (1989), embora inicialmente a metodologia possa ser encarada como um processo dispendioso, a manutenção preditiva apresenta resultados tais que pode e deve ser considerada como atividade produtiva. O autor lista uma série de vantagens que são conseguidas na condução e aplicação de técnicas preditivas:

- Uma reparação, ajuste ou conserto normal e rotineiro passa a custar bem menos que uma quebra e consequente interrupção da produção;
- Como o equipamento é mantido constantemente ajustado, a rejeição de unidades de fabrico é apreciavelmente reduzida, com menor perda de materiais;
- Os equipamentos de reserva podem ser eliminados em grande número de casos, tornando-os produtivos ou eliminando-os, diminuindo o ativo fixo;
- Controle efetivo de peças sobressalentes e materiais diminui de maneira sensível os custos de inventário elevados. Quando a programação é executada inteligentemente, o estoque de peças permanece no fornecedor e não no estoque da fábrica;
- O controlo e a monitoração permitem verificar quais os componentes mais substituídos, assim como quais os equipamentos que apresentam maiores problemas;

- Permite que a Manutenção e Produção saibam qual o estado real do equipamento a qualquer instante, o que permite sugerir à alta direção a sua substituição ou remodelação no momento adequado e não de forma intempestiva ou tardeamente;
- Como existe uma programação, é possível providenciar todo o material necessário, originando maior segurança para os executores da reparação, assim como ampla segurança à produção que fica informada, previamente, do tempo ocioso do dispositivo a ser reparado;
- Cada peça de equipamento que constitui a instalação passa a ter um controle onde estão descritos todos os dados sobre a máquina, com seu estado real a cada instante, além do histórico completo de cada peça da instalação;
- Pelos resultados que a manutenção preditiva apresenta os consertos de grande importância, assim como as interrupções constantes devido a falhas periódicas são eliminadas ou atenuadas de maneira sensível;
- Uma programação adequada, com coordenação junto com o setor de Produção, permite executar praticamente todos os serviços afetos à Manutenção no horário normal de trabalho, eliminando ou diminuindo significativamente as horas extras e trabalhos aos fins-de-semana e feriados;
- Como a Manutenção é informada quanto ao estado real de cada componente das máquinas e equipamentos a todo instante, as falhas de menor importância são corrigidas em menor tempo, exigindo menos mão-de-obra, além de aliviar a carga sobre os técnicos.
- Como existem dados claros e objetivos, as gerências, assim como a alta direção da empresa podem tomar decisões com base em valores e dados concretos e não com base em opiniões subjetivas.

Embora muitos modos de falha não estejam relacionados com a idade, muitos dão algum tipo de alarme quando a falha está para ocorrer. Partindo desse pressuposto, se puder ser encontrada evidência que existe alguma anomalia que poderá levar ao estágio final de falha, é possível tomar decisões para prevenir a falha completamente e/ou evitar as suas consequências.

A premissa básica para a aplicação das tarefas preditivas, na ótica de Moubray (2000), é a do entendimento da *Curva P-F* (na figura 17), que ilustra a evolução de uma falha potencial. A figura mostra em que ponto da curva uma falha começa, e se deteriora ao ponto em que pode ser detetado (ponto "P") e depois, se não for detetado e corrigido, continua a se deteriorar - normalmente a uma taxa acelerada - até atingir o ponto de falha funcional ("F").

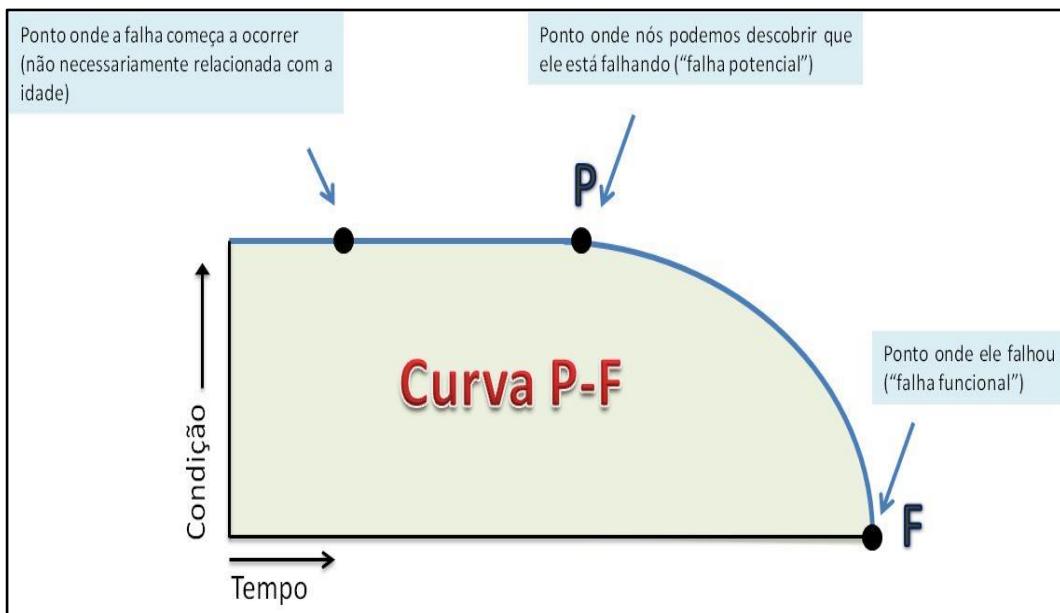


Figura 17 - A Curva P-F
(Fonte: Moubray, 2000).

A falha potencial é uma condição identificável que indica que a falha funcional está para ocorrer ou em processo de ocorrência. Se uma falha potencial é detetada entre o ponto P e o ponto F da curva, é possível realizar ações para prevenir ou evitar que a falha ocorra evitando, assim, as consequências da falha funcional. Segundo o autor, as tarefas destinadas a detetar falhas potenciais são conhecidas como tarefas sob condição, pois os itens que são inspecionados são deixados em serviços *sob condição* para que continuem a desenvolver os padrões de desempenho desejado.

Para Assis (2010), o intervalo P-F é aleatório, sendo descrito por uma distribuição de probabilidade. Para detetar a falha potencial antes que se torne numa falha funcional, o intervalo entre as verificações deve ser menor que o intervalo P-F. Para diferentes modos de falha, ele pode variar de frações de segundo até décadas. É importante observar que, se uma tarefa de inspeção for feita em intervalos maiores que o intervalo P-F, existe a possibilidade de deixar passar a falha totalmente. Por outro lado, se a periodicidade da tarefa considerar uma percentagem de intervalo P-F muito pequeno, perde-se recursos no processo de verificação. Sendo assim, segundo o autor é suficiente selecionar o intervalo de verificação como sendo a metade do intervalo P-F, e isso assegurará que a inspeção detete a falha potencial antes de ocorrer a falha funcional, conseguindo-se tempo suficiente para desencadear uma ação corretiva. *Este conceito é conhecido como intervalo P-F residual*, que é o intervalo mínimo decorrido entre a descoberta da falha potencial e a ocorrência da falha funcional, determinando,

assim, o tempo disponível para tomar qualquer ação necessária para reduzir ou eliminar as consequências da falha, tais como:

- *Tempo de paralisação*: ação corretiva pode ser planeada em tempo que não interrompa as operações;
- *Custos de reparação*: os utilizadores podem eliminar o dano secundário que poderá ser causado por falhas não antecipadas;
- *Segurança*: alerta da falha dá oportunidade de atuar antes que a situação se tornar perigosa ou retirar as pessoas que poderão ser afetadas devido ao dano em questão.

Para que tais tarefas possam ser tecnicamente possíveis, o intervalo P-F residual deve ser maior que o tempo requerido para realizar a ação. Se o intervalo P-F for muito pequeno para que alguma ação razoável possa ser tomada, a tarefa sob condição é claramente impossível de ser feita. Seguindo esta abordagem, estas tarefas só são tecnicamente viáveis se:

- É possível definir uma condição de falha potencial clara;
- O intervalo P-F é razoavelmente consistente;
- É possível monitorizar o ativo a intervalos menores que o intervalo P-F;
- O intervalo P-F é suficientemente longo para que uma ação seja tomada para reduzir ou eliminar as consequências da falha funcional.

As principais categorias de técnicas de monitorização são apresentadas na figura 18.



Figura 18 - Categorias de técnicas de monitorização
(Fonte: Moubray, 2000).

Como se pode observar, a monitorização da condição parte da premissa que as mais sensíveis técnicas de manutenção sob condição normalmente envolvem o uso de algum tipo de equipamento para detetar as falhas potenciais. Os intervalos P-F associados a diferentes técnicas de monitorização variam de minutos a meses além de apontarem falhas com diferentes graus de precisão. A monitorização da condição envolve algumas centenas de diferentes técnicas que são destinadas a detetar efeitos de falhas e são classificadas em efeitos dinâmicos, efeitos das partículas, efeitos químicos, efeitos físicos, efeitos de temperatura e efeitos elétricos.

No âmbito da variação da qualidade de produto, uma fonte importante de dados sobre falhas potenciais é o controlo da qualidade, uma vez que o surgimento de um defeito em algum item produzido pode estar associado a algum modo de falha do processo ou máquina. O controlo estatístico de processo - CEP - é uma ferramenta de gestão da qualidade que pode ser utilizada no âmbito da manutenção preditiva, uma vez que exige a medição de algum atributo de produto e usa essa informação para avaliar a estabilidade do processo.

A monitorização de efeitos primários são outra fonte de informação sobre a condição do equipamento e seus registos podem ser comparados com informações de referência, de modo a fornecer evidência sobre o desenvolvimento de uma falha.

Os sentidos humanos contemplam as técnicas de inspeção sob condição mais conhecidas, uma vez que se baseiam nos sentidos humanos - olhar, ouvir, sentir e cheirar - para detetar modos de falha. Quando se deteta as falhas usando os sentidos humanos, o processo de deterioração já está frequentemente muito avançado e isso implica que os intervalos P-F devem ser curtos. Assim, as verificações são feitas de forma mais frequente do que a maioria e a resposta deve ser rápida.

A figura 19 apresenta as técnicas de monitorização referidas e as atividades ou parâmetros associados. Todavia, é importante salientar que muitos modos de falha podem ser precedidos por mais do que uma falha potencial diferente e mais do que uma tarefa sob condição pode ser apropriada.



Figura 19 - Técnicas de monitorização e seus desdobramentos
 (Fonte: Moubray, 2000).

Embora para os modos de falha associados à idade cujos estágios finais de deterioração são lineares o intervalo P-F possa ser estimado, o mesmo não se pode afirmar no caso de falhas aleatórias, onde a deterioração é acelerada.

A determinação do intervalo P-F pode ser realizada através de: *observação contínua; começando com um intervalo curto e estendendo gradualmente; intervalos arbitrários; através de pesquisa ou através de uma abordagem racional.*

Kardec *et al.* (2002) sustenta que uma técnica de manutenção preditiva deve atender requisitos que permita a coleta de dados com o equipamento em funcionamento ou com o mínimo de interferência no processo, bem como permitir a coleta de dados que possibilite a análise de tendências. Uma enorme variedade de técnicas têm sido desenvolvidas e novas formas estão sempre a aparecer.

Pinto (2013) sintetiza que existe, atualmente, no mercado uma grande oferta de serviços e tecnologias no domínio da manutenção preditiva. Sustenta ainda que essa crescente oferta, associada à maturidade tecnológica já alcançada, trouxeram a redução de custos das soluções de manutenção e facilitaram a sua generalização. O anexo II mostra uma lista de técnicas disponíveis, no entanto salienta-se que estas não são definitivas.

Os resultados da manutenção preditiva são inquestionavelmente melhores do que aqueles obtidos pela manutenção preventiva clássica, mas deve-se ter senso crítico relativamente aos custos envolvidos na sua aplicação.

Pode-se sintetizar algumas vantagens e desvantagens da implementação da CBM conforme listadas na figura 20.



Figura 20 - Vantagens e desvantagens da CBM
(Fonte: Pinto, 2013; Pereira, 2009).

3.1.5 Engenharia de Manutenção

Para Lafraia (2001) é o estudo das causas básicas que levam à falha, de modo a entender o seu comportamento e propor planos de melhoria usando técnicas modernas. Conforme o autor, praticar a Engenharia de Manutenção significa uma mudança cultural:

- Deixar de ficar consertando continuamente para procurar as causas básicas;
- Modificar situações permanentes de mau desempenho;
- Deixar de conviver com problemas crônicos;
- Melhorar padrões e sistemáticas;
- Desenvolver a manutibilidade;
- Dar feedback ao projeto;
- Contribuir tecnicamente nas compras de máquinas e/ou peças;
- Perseguir *benchmarks*;
- Suportar as equipes de trabalho da Manutenção na obtenção da causa-raiz em todas as falhas onde a causa não é conhecida;
- Atuar como responsável pela determinação da causa-raiz de cada falha e sua consequente ação de prevenção onde a causa não é conhecida;
- Suportar as equipes de trabalho da manutenção na atividade de manutenção preventiva.
- Atuar como suporte às equipes na análise da performance dos trabalhos efetuados pelas empresas e pela própria equipa de manutenção;

- Analisar os indicadores de desempenho e propor melhorias no sistema de manutenção preventiva, principalmente na análise das tarefas que constam no plano de manutenção e suas respetivas frequências;
- Propor planos de otimização dos recursos a fim de reduzir o custo das atividades subcontratada a terceiros, obtendo a máxima performance dos equipamentos.
- Suportar as equipas de trabalho da Manutenção e da área de controlo de *spare parts*.
- Fazer estudos de desenvolvimento de fornecedores locais e novas fontes de fornecimento;
- Implementar um sistema de manutenção preditiva;
- Suportar as equipas de trabalho na identificação, implementação e desenvolvimento de oportunidades de redução de *setup*, redução do tempo médio para reparação - *mean time to repair* - MTTR, aumento da disponibilidade - reduzindo o *downtime*, custos de manutenção e aumento do tempo médio entre falha - *mean time between failures* - MTBF.

Smith e Hawkins (2004) sustentam que se a fábrica não tem uma equipa de engenharia de manutenção esta deve ser estabelecida e que as funções e responsabilidades dos novos ou existentes grupos de engenharia de manutenção devem ser revistos para integrar e melhorar a organização da manutenção pró-ativa. Ainda segundo os autores, dados estatísticos indicam que até 70% das falhas de equipamentos são autoinduzidos. Encontrar as razões para as falhas autoinduzidas, e todas as falhas, é uma responsabilidade da engenharia de manutenção. Neste caso, a engenharia de fiabilidade tem um papel importante no grupo de engenharia de manutenção.

Viana (2002) afirma que a engenharia de manutenção tem uma grande importância como fator de desenvolvimento técnico-organizacional da manutenção industrial, pois tem o objetivo de promover o progresso tecnológico da manutenção através da aplicação de conhecimentos científicos e empíricos na solução de dificuldades encontradas nos processos e equipamentos, perseguindo a melhoria da manutenção da maquinaria, maior produtividade e a eliminação de riscos de segurança do trabalho e de danos ao meio ambiente.

3.1.6 Lean Maintenance

Conforme Chambers e King (2006), é um método lógico e sistemático para identificação e eliminação de perdas - atividades que não agregam valor - através de um processo contínuo de melhoria, de modo a atingir melhor eficiência na manutenção

em resposta às demandas solicitadas. Pinto (2013) descreve o conceito de LCM, ou seja, *Lean Centered Maintenance* como uma operação pró-ativa que emprega atividades de manutenção planeadas através das práticas TPM, usando estratégias de manutenção centrada na fiabilidade (RCM, *reliability centered maintenance*) e recorrendo a equipas autónomas através do uso correto de sistemas informáticos de apoio à manutenção.

Com efeito, é suportada por um sistema descentralizado de gestão de materiais e peças de reserva que garantem o fornecimento *just in time* (JIT) do que é necessário e apoiada num grupo de engenharia de fiabilidade que realiza análise de causas e efeitos (RCFA, *root cause failure analysis*) e análises de manutenção preditiva/condicionada. A figura 21 evidencia as principais etapas para melhorar o desempenho através do LCM.



Figura 21 - Auditoria Lean Maintenance
(Fonte: Pinto, 2013).

Um programa LCM começa com a avaliação das práticas atuais de manutenção por meio de uma auditoria, onde a empresa poderá identificar as áreas onde é necessário intervir para que seja possível responder de forma eficaz aos pedidos dos clientes, reduzir lotes de fabrico e reduzir tempos de *setup*, além de ajudar a identificar lacunas de formação e competências nos colaboradores de manutenção, lacunas ao nível de equipamentos e ferramentas e a necessidade de alocar recursos de manutenção a áreas críticas do desempenho da empresa.

Do ponto de vista prático, embora o termo *Lean Maintenance* seja um termo novo, os seus princípios básicos seguem a filosofia do TPM (*Manutenção Produtiva*

Total), onde a busca das melhores práticas das equipas de manutenção, a otimização dos processos de trabalho, a documentação estruturada de procedimentos, o uso adequado de indicadores de desempenho, a utilização inteligente dos recursos humanos e materiais, a contratação de serviços e a contínua capacitação dos colaboradores, são fatores fundamentais para o alcance da excelência técnica e operacional.

Smith e Hawkins (2004) complementam que os fundamentos e pilares do *Lean Maintenance* são baseados na Manutenção Produtiva Total (TPM), conforme figura 22.



Figura 22 - Práticas Lean Maintenance
(Fonte: Smith & Hawkins, 2004).

Segundo Cooper (2010), o objetivo principal do *Lean Maintenance* é prover a capacidade máxima de disponibilidade operacional, ou próxima desta, de modo a manter alta fiabilidade e custos reduzidos.

Levitt (2008) aborda que a manutenção de classe mundial é uma ficção extremamente útil, inventada para estimular as empresas na direção da excelência em seus respetivos campos, enfatizando a importância de se perceber que não há um padrão de classe mundial e que as comparações devem ser feitas em segmentos similares, onde as regras e indicadores possam ser comparados dentro da divisão. O autor define *Lean Maintenance* como a entrega de serviços de manutenção aos clientes com um desperdício mínimo possível, ou produzir um resultado desejável na manutenção com o menor número de entradas possíveis.

O *Lean Maintenance* faz uso de técnicas modernas de gestão e análise de falhas, tais como o *RCM*, *FMECA* e *Six Sigma* na sua filosofia de implementação, entre outras ferramentas, ou seja, muitas das soluções são de uso das áreas de qualidade, serviços e indústrias e outras foram desenvolvidas para a área de engenharia de produto e processo.

Dominar estas ferramentas não garante o sucesso na implementação do LCM, uma vez que a filosofia Lean não está associada às soluções que preconiza, mas sim em aspectos menos tangíveis como a cultura empresarial, a liderança das pessoas e a gestão de processos.

Alguns métodos e ferramentas são indicados na figura 23.

Melhoria contínua	Soluções para uso interno da manutenção	Soluções para aplicar em parceria com outras áreas da empresa
<ul style="list-style-type: none">•PDCA•SDCA•Cinco porquês (5W)•Gestão visual	<ul style="list-style-type: none">•Método M-VSM•Diagrama SIPOC•Matriz de competências•Método 5S•Sete ferramentas da qualidade•Método error-proofing•Sistema pull•Kanban	<ul style="list-style-type: none">•Fórmula 5W2H•Eventos RIE•Método A3•Método SMED•Método FME(c)A•Técnica FTA•Método RCM•Método QFD•One point lesson•Registro ARR

Figura 23 - Soluções Lean Maintenance
(Fonte: Pinto, 2013).

O anexo III apresenta uma tabela que resume algumas técnicas e metodologias propostas para a aplicação do *Lean Maintenance* indicando as suas finalidades, forma de implementação e condução das atividades, bem como os resultados esperados na aplicação de cada uma delas.

Na figura 24 são apresentadas pontos comuns das estratégias de gestão da Manutenção de Classe Mundial e Lean Maintenance, segundo Levitt (2008).

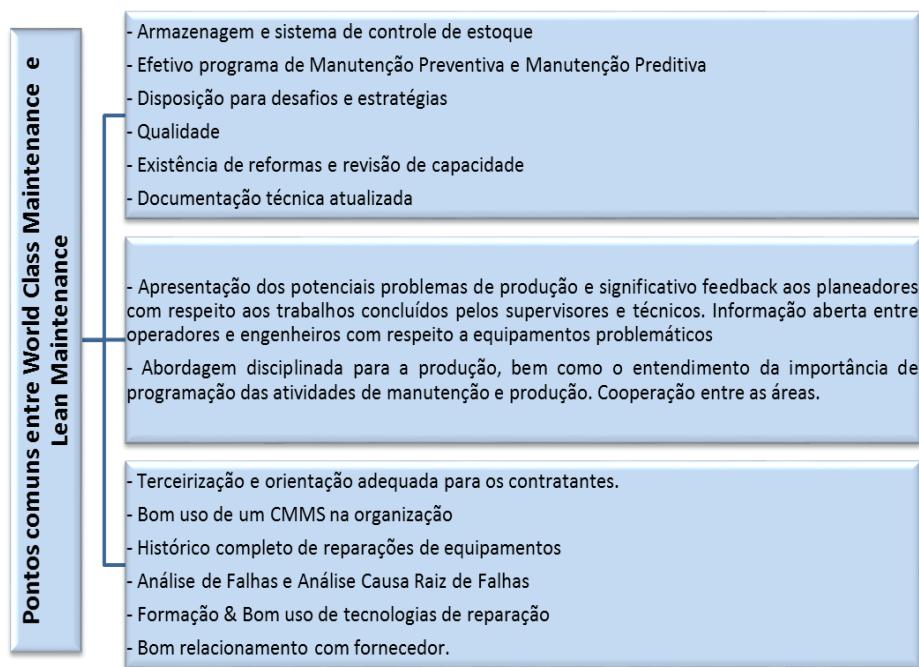


Figura 24 - Pontos comuns entre Lean Maintenance e World Class Maintenance
 (Fonte: Levitt, 2008).

De uma forma geral, a resolução de problemas deverá ser sempre uma atividade disciplinada nas quais as ações Lean são apenas um contributo importante nesse processo. Isso quer dizer que essas não são as respostas imediatas para a resolução dos problemas, uma vez que é necessário saber qual o método ou a ferramenta a usar em cada fase sendo aquelas apresentadas na tabela apenas algumas das ferramentas mais usuais disponíveis para uso no âmbito da manutenção.

3.2 Técnicas e Ferramentas

Conforme Kardec e Nascif (2007), a aplicação de técnicas e ferramentas adequadas conduzirá às *Melhores Práticas na Manutenção Moderna* e estão listadas a seguir. Estas técnicas e ferramentas não são específicas da manutenção, sendo utilizadas em várias áreas.

- 5S;
- FMEA - Failure Mode and Effect Analysis;
- RCA - Root Cause Analysis;
- FTA - Fault Tree Analysis.
- 8D's.

3.2.1 Os Cinco S (5S)

Pinto (2013) afirma que os 5S são dos métodos Lean mais simples e eficazes que se conhece, pois apelam ao puro bom senso. Os 5S referem-se a um conjunto de práticas que procuram a redução dos desperdícios e a melhoria do desempenho das pessoas e processos, através de uma abordagem simples que assenta na manutenção das condições ótimas dos locais de trabalho. São, ainda, uma forma simples, eficiente e económica de obter rápidos ganhos para a manutenção.

A implementação de um programa 5S está na base da aplicação dos mais importantes pilares do TPM, que são os pilares da manutenção autónoma e manutenção planeada.

Além disso, partem do princípio de que para realizar uma intervenção de manutenção com qualidade necessita-se da limpeza inicial - de modo a eliminar as sujidades que se formam no equipamento, bem como facilitar a deteção de anomalias e sua reparação. Permite a adoção de medidas de combate contra a fonte de sujidade e local de difícil acesso - de modo a efetuar melhorias quanto à fonte de sujidades, prevenção contra derrames e locais de difícil limpeza e lubrificação e reduzir o tempo gasto nesses procedimentos (Cabral, 2006).

Takahashi e Osada (1993) entendem que é preciso analisar a gestão dos 5S numa fábrica, de modo a determinar até que ponto os operários têm interesse e estão comprometidos com as máquinas e as utilizam com cuidado.

A aplicação dos 5S requer tempo, persistência e bastante acompanhamento e o uso do ciclo PDCA pode ser um aliado na implementação de cada fase, que a seguir se descreve.

1. *Seiri* (*sentido de organização*): senso de utilização ou seleção. Tem por objetivo separar o útil do inútil, identificar coisas desnecessárias no posto de trabalho, conforme ilustrado na figura 25. Preconiza manter no local apenas aquilo que é necessário e adequado à execução das atividades e ao ambiente de trabalho, ou seja, o que não serve para um setor pode servir e estar fazendo falta noutro setor; Verificar, de entre todos os materiais, equipamentos, ferramentas, móveis, aquilo que de facto é útil e necessário; Separar tudo o que não tiver utilidade para o setor, tais como materiais quebrados, obsoletos, materiais que não têm utilidade para o serviço executado pelo setor; materiais armazenado em excesso e materiais já utilizados.

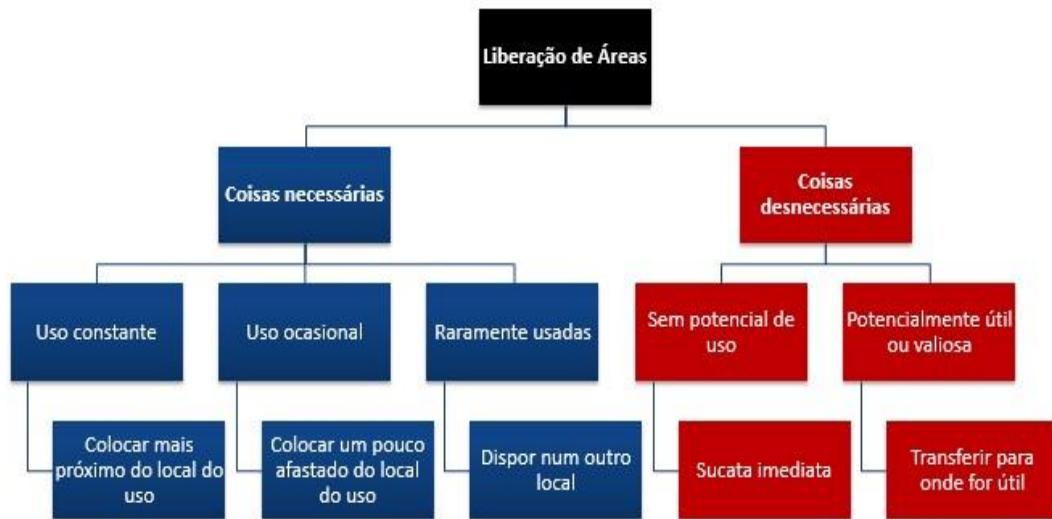


Figura 25 - Aplicação prática do Senso de Organização: Seiri
 (Fonte: Takahashi & Osada, 1993).

2. *Seiton (sentido de arrumação)*: senso de ordenação, sistematização, layout funcional e prático e classificação. Tem por objetivo definir um local para cada coisa, verificar que cada coisa está no seu local, disponibilizar as de uso mais frequente, colocar etiquetas de identificação (ajudas visuais) nas coisas e no respetivo lugar onde estas devem ser mantidas; arrumar e ordenar aquilo que permaneceu no setor por ser considerado necessário. Definir critérios para guardar e organizar aquilo que é necessário; desenvolver o hábito de guardar os objetos nos seus devidos lugares após utilizá-los; identificar e padronizar o nome dos objetos; criar sistema de identificação visual dos objetos, para facilitar o acesso aos mesmos (cores, rótulos, símbolos); utilizar controlo de materiais, equipamentos, etc., se necessário; colocar o lixo no recipiente certo, isto facilitará o reaproveitamento.
3. *Seiso (sentido de limpeza)*: estabelece como dividir o posto de trabalho e atribuir uma zona a cada elemento do grupo. Proceder à limpeza em cada zona do posto de trabalho, assim como da área envolvente; definir uma norma de limpeza para essa zona do posto de trabalho e zelar pelo mesmo. Limpar os equipamentos após o uso, para que o próximo a usá-lo o encontre limpo; evitar sujar o local desnecessariamente, desenvolvendo hábitos de limpeza: lixo na lixeira, mesas limpas, máquinas cobertas, etc.; minimizar a geração de lixo; educar para não sujar; limpar o que está sujo; inspecionar enquanto limpa; descobrir e eliminar as fontes de sujidade; distribuir amplamente recipientes de coleta de lixo.
4. *Seiketsu (sentido de normalização)*: preconiza definir uma norma geral de arrumação e limpeza para o posto de trabalho, identificar as ajudas visuais e procedimentos, normas de arrumação e limpeza que resultem/funcionem. Normalizar em toda a manutenção os equipamentos/postos de trabalho do mesmo tipo. Preocupa-se com as dimensões relativas a limpeza, higiene e saúde. Desenvolve a preocupação constante com a higiene em seu sentido mais amplo, tornando o lugar de trabalho saudável e adequada às

atividades ali desenvolvidas; adotar como rotina a prática dos três "S" anteriores; criar um ambiente harmonioso que leve em consideração a estética (beleza) do local de trabalho; cumprir horários; cumprir prazos; identificar e eliminar fontes de risco e de insalubridade; cuidar do corpo e da mente; estimular um clima de confiança, amizade e solidariedade; manter excelentes condições de higiene nas áreas comuns.

5. *Shitsuke* (*sentido de autodisciplina*): estabelece como praticar os princípios de organização, sistematização, limpeza, compromisso e disciplina. Procura eliminar a variabilidade, isto é, fazer sempre bem à primeira; estabelecer procedimentos de controlo visual; Verificar se está tudo no seu lugar, verificar o estado de limpeza; verificar se as ações e inspeções estão a ser realizadas corretamente; desenvolver um sistema do tipo lista de verificação e de ajudas visuais; melhorar constantemente; desenvolver a força de vontade, a criatividade e o senso crítico; respeitar e cumprir as rotinas estabelecidas. Tornar a prática dos "S" anteriores uma rotina a ser cumprida disciplinadamente; agir com paciência e perseverança no cumprimento das rotinas; cumprir as normas internas da organização: utilização do crachá, uniforme, etc.; transformar a disciplina dos "5S" em autodisciplina, incorporando definitivamente os valores que o programa recomenda; criar mecanismos de avaliação e motivação; compartilhar visão, missão, etc.; reconhecer o esforço e incentivar a criatividade; melhorar as comunicações em geral; atribuir responsabilidades e dar autoridade; educar-se e educar continuamente, sem tréguas; Ter paciência e persistência na educação e treinamento.

Pinto (2013) ressalta a adoção mais moderna desta filosofia, que acrescentou mais um S: o *Senso de Segurança*, o qual não pode ser dissociado dos anteriores e nem de qualquer atividade realizada.

Sendo assim, os 6S procuram encorajar os colaboradores a melhorar o seu local de trabalho e facilitam o esforço de redução de desperdícios, conforme visualizado na figura 26.

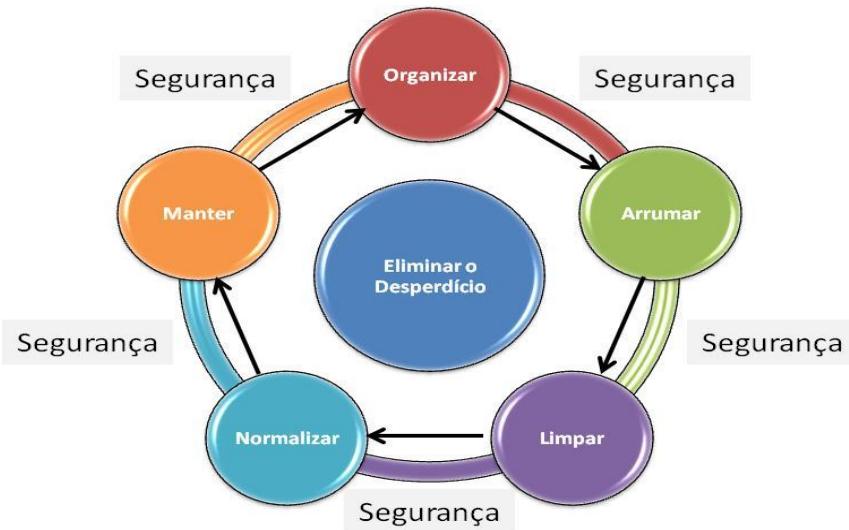


Figura 26 - Aplicação dos 6S's e a eliminação do desperdício
(Fonte: Pinto, 2013).

3.2.2 Análise dos Modos de Falha e Efeitos

Palady (1997) define a *Análise dos Modos de Falha e Efeitos* (*FMEA - Failure Mode and Effect Analysis*) como sendo uma técnica que oferece três funções distintas: uma ferramenta para prognóstico de problemas; um procedimento para desenvolvimento e execução de projetos, processos ou serviços, novos ou revistos; um diário do projeto, processo ou serviço.

Relativamente ao prognóstico, o FMEA é uma das técnicas mais eficientes para prevenção de problemas e identificação das soluções mais eficazes em termos de custos. Como procedimento de desenvolvimento de projetos, oferece uma abordagem estruturada para avaliação, condução e atualização de projetos e processos em todas as disciplinas no âmbito da organização. Como diário, inicia-se na conceção do projeto, processo ou serviço, e mantém-se ao longo da vida de mercado do produto.

Para Cabral (2006), é uma das técnicas usadas na análise de condição de falha, consistindo na análise detalhada das falhas dos componentes com ênfase na identificação das causas das falhas e na correção do projeto original para melhoria da fiabilidade. O autor enfatiza uma variante do FMEA, denominada *FMECA - Failure Mode, Effect and Criticality Analysis*, que enfoca a criticidade sob o ponto de vista estatístico. Algumas das normas mais comumente citadas sobre FMECA são as MIL-STD-1629, SAE ARP 5580, SAE J1739 e IEC 60812.

Sales (2008) indica que a principal diferença entre a FMEA e FMECA é o método da avaliação da criticidade. O método consiste na identificação de prováveis modos de falha, dos possíveis efeitos de cada falha e da *criticidade de cada um dos efeitos*.

Relativamente à criticidade, um número é atribuído a cada um dos modos de falha, com base na probabilidade da ocorrência, na severidade do efeito da falha e na possibilidade da falha ser detetada durante as fases de produção, inspeção ou testes, antes que o produto chegue aos clientes.

Pinto (2013) define o FMEA como sendo uma técnica utilizada na identificação dos modos de falha de um sistema, produto ou processo para fornecer orientações para eliminação ou redução do risco relativo a essas falhas, tratando-se de uma abordagem indutiva e estruturada para identificar falhas e riscos associados às mesmas, uma ajuda para definir as prioridades para as ações que devem ser tomadas.

Flogiatto e Ribeiro (2009) apontam para o facto de que o FMEA é uma técnica de fiabilidade que tem como objetivos “*reconhecer e avaliar as falhas potenciais que podem surgir num produto ou processo; identificar ações que possam eliminar ou reduzir a possibilidade de ocorrência dessas falhas; documentar o estudo, criando um referencial técnico que possa auxiliar em revisões e desenvolvimentos futuros o projeto ou processo*

”.

A ISO/TS16949, que é uma equivalência da norma SAE J-1739, aponta que uma FMEA pode ser descrita como um grupo sistemático de atividades destinado a: *reconhecer e avaliar a falha potencial de um produto/processo e os efeitos dessa falha; identificar ações que poderiam eliminar ou reduzir a possibilidade de ocorrência de uma falha potencial; documentar todo o processo.* Stamatis (2003) indica que existem três tipos principais de FMEA: a) FMEA de sistema; b) FMEA de produto; c) FMEA de processo. Existem vários tipos de FMEA, consuante a sua utilização. Os tipos de FMEA que se conhecem são resumidamente:

- FMEA de *produto*: aborda o sistema global (equipamento, por exemplo);
- FMEA de *design*: aborda os componentes ou os subsistemas;
- FMEA de *processos*: aborda os processos de fabrico;
- FMEA de *serviços*: aborda as operações de serviços;
- FMEA de *software*: aborda as funções de software.

Outras aplicações para a FMEA são apontadas por Lafraia (2001);

- Meio para identificar os testes necessários e os meios requeridos para certificar um projeto;
- Sistema lógico para considerações, avaliações ou certificações de mudanças em projetos, processos ou materiais.

Os conceitos relativos ao processo de utilização desta técnica, tais como função, modo de falha, causa da falha, efeito da falha, severidade, ocorrência e deteção são descritos a seguir.

- *Função*: o que o utilizador deseja que o item ou sistema faça dentro de um padrão de desempenho especificado;
- *Falha*: é a impossibilidade de um sistema ou componente cumprir com a sua função no nível especificado ou requerido;
- *Modo de falha*: é a descrição da maneira pela qual um item falha em cumprir com a sua função. Compreende os eventos que levam a uma diminuição parcial ou total da função do item e de suas metas de desempenho;
- *Causa básica*: é o processo químico ou físico, defeito de projeto, defeito de qualidade, uso indevido ou outro processo que seja a razão básica para a falha ou que inicie o processo físico que preceda a falha. Indica a razão do modo de falha ter acontecido;
- *Efeito da falha*: é a consequência que o modo de falha tem sobre a operação, função ou estado de um item, podendo ser classificado como local, sobre o nível superior ou sobre o sistema total e deve ser descrito como se nenhuma medida de manutenção/projeto fosse feita para prevenir a falha;
- *Severidade*: é a classificação associada ao efeito para um dado modo de falha. A redução do índice de classificação da severidade somente pode ser realizada através de uma alteração do projeto;
- *Ocorrência*: é a probabilidade de um mecanismo/causa específico irá ocorrer durante a vida do projeto. A única forma de reduzir efetivamente o índice de ocorrência é prevenindo ou controlando as causas/mecanismos do modo de falha, através de uma alteração no projeto ou no processo;
- *Deteção*: é a classificação associada à facilidade de deteção do modo de falha. Para alcançar um índice menor, geralmente o planeamento do controlo de projeto tem de ser melhorado;
- *Número de Prioridade de Risco (NPR)*: é o produto dos índices de Severidade (S), Ocorrência (O) e Deteção (D);
- *Criticidade*: a norma americana MIL-STD-882D introduz o conceito de criticidade resultante da incorporação da severidade de uma falha com a probabilidade de ela ocorrer.

A técnica FMEA é composta pelos seguintes passos:

1. Para cada entrada do processo, *determinar de que modo o processo pode falhar*, ou seja, esta é a fase de definição dos modos de falhas;
2. Para cada modo de falha identificado, *determinar os efeitos*;
3. *Identificar as causas potenciais* de cada modo de falha identificado;
4. *Listar os controlos atuais* para cada causa identificada;

5. Usando uma escala de 1 a 10, atribuir os graus de severidade (S), ocorrência (O) e deteção (D), ou seja, é necessário definir o nível de gravidade para cada um dos efeitos, definir a frequência de ocorrência de cada causa e definir o nível de deteção para a capacidade dos controlos atuais detetarem a causa e/ou o modo de falha.
6. Calcular o número de prioridade de risco (NPR, number of priority risk). O NPR é calculado com base na informação relativa a modos de falha potenciais, efeitos e a capacidade atual do processo para eliminar as falhas antes de chegarem ao cliente. No caso de ser um formulário FMECA, determina-se a probabilidade de falha de cada componente a partir de dados publicados, da experiência do fabricante, ou de ensaios de fiabilidade e calcula-se a fiabilidade do conjunto. Usam-se as seguintes equações para determiná-lo:

$$NPR = S \times O \times D \quad (3.19)$$

$$C = P \times S \times D \quad (3.20)$$

onde:

C é o nível de criticidade;

P é a probabilidade de ocorrência de cada modo de falha;

S é a severidade ou criticidade da falha;

D é a probabilidade de deteção.

7. Determinar as ações recomendadas para reduzir os NPR mais elevados a partir dos modos de falha que possuem maiores valores. Palady (2007) sugere que se o NPR for maior que 100 ou a severidade maior que 8, então ações corretivas são necessárias.
8. Implementar as ações apropriadas e documentar os resultados.
9. Recalcular o NPR e iniciar as intervenções pelos valores mais elevados.

A figura 27 mostra uma sequência lógica para o desenvolvimento e aplicação do FMEcA recorrendo ao ciclo PDCA.

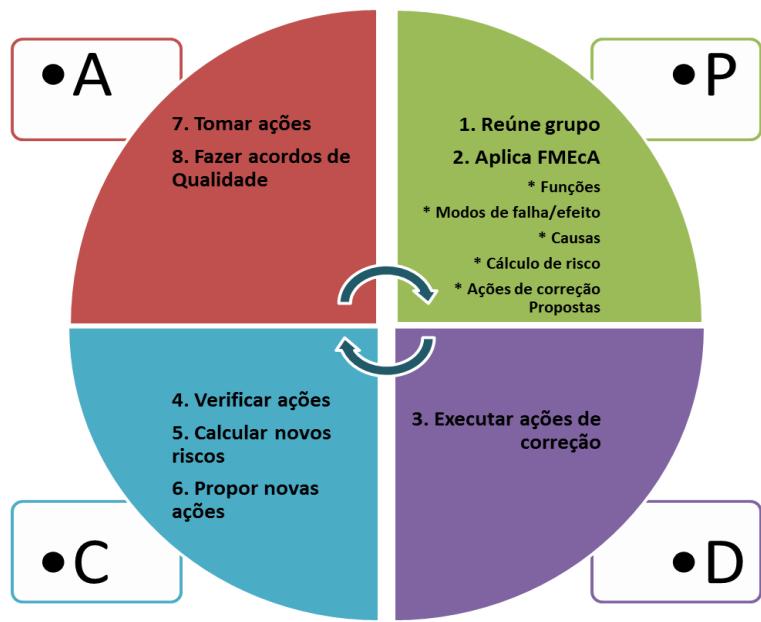


Figura 27 - Sequência lógica para aplicação da ferramenta FMEcA usando Ciclo PDCA

O estudo FMEA materializa-se através da aplicação de um formulário específico, conforme exemplo prático apresentado na figura 28, que explora todas as dimensões da aplicação prática desta ferramenta.

Além disso, os modelos diferem ligeiramente em virtude da natureza da aplicação da ferramenta, conforme os tipos de FMEA que foram abordados acima. No entanto, a filosofia de aplicação continua inalterada.

Xfmea X System: 1 - Processo de Setup
Core Team: Produção, Planejamento, Qualidade, Manutenção, Engenharia, Marcelo Oliveira
Document Number: FMEA01MCM09
FMEA Due Date: 7/3/2009 FMEA Date (Orig.): 6/1/2009 FMEA Date (Rev.): 7/3/2009
Prepared By: Marcelo Albuquerque de Oliveira Primary Approval: Marcelo Oliveira Approval Date: 7/3/2009

Item/Function	Failure	Effect	Si	Classification	Cause	Oi	Control	Control Type	Di	NPRi	Action	Person Responsible	Due Date	Action Taken	Completion Date	Sr	Or	Dr	NPRr
1- Processo de Setup																			
Realizar Setup no processo produtivo considerando os requisitos: - Atingir tempo de setup planejado para o produto; - Capacidade Planejada; - MFR do produto sob controle.	Setup não realizado no tempo planejado.	Perda de produtividade. Possibilidade de não realizar volume previsto causando replanejamento da atividade. Necessidade de modificação do plano de produção. Possibilidade de não entregar produto ao cliente com risco de cancelamento. Mão-de-obra ociosa. Geração de backlog.	10	C	Falta de disciplina no cumprimento dos procedimentos.	7			5	350	Instituir a figura do líder de setup (Supor te) para centralizar e coordenar as ações para a equipe de setup.		30/06/2009	Figura do líder instituída e terá a função de planejamento e direcionamento das ações de setup e manutenção.	07/08/2009	9	3	2	54
Realizar Setup no processo produtivo considerando os requisitos: - Atingir tempo de setup planejado para o produto; - Capacidade Planejada; - MFR do produto sob controle.	Setup não realizado no tempo planejado.	Perda de produtividade. Possibilidade de não realizar volume previsto causando replanejamento da atividade. Necessidade de modificação do plano de produção. Possibilidade de não entregar produto ao cliente com risco de cancelamento. Mão-de-obra ociosa. Geração de backlog.	10	KI	Falta de efetivo técnico.	7			1	70	Direcionar técnicos para as atividades de setup (BA, FA e Teste).		03/07/2009	Atividades técnicas terão colaboração do grupo de suporte. Contratação de Auxiliar Técnico para as atividades de setup e manutenção preventiva.	04/08/2009	9	3	1	27
Realizar Setup no processo produtivo considerando os requisitos: - Atingir tempo de setup planejado para o produto; - Capacidade Planejada; - MFR do produto sob controle.	Setup não realizado no tempo planejado.	Perda de produtividade. Possibilidade de não realizar volume previsto causando replanejamento da atividade. Necessidade de modificação do plano de produção. Possibilidade de não entregar produto ao cliente com risco de cancelamento. Mão-de-obra ociosa. Geração de backlog.	10	KI	Treinamento não adequado para a equipe de produção, técnica e setup nos requisitos funcionais.	6	Checklist de Setup.	Prevention	4	240	Criação One Page na área de BA.		31/07/2009	Criação da One Page para o setup de equipamentos na área de BA.	21/09/2009	9	3	2	54

Figura 28 - Exemplo prático da aplicação de uma FMEA na empresa do setor eletrônico.

O formulário FMEA é um documento “vivo”, ou seja, uma vez realizada uma análise para um produto/processo específico, esta deve ser revista sempre que ocorrerem alterações neste produto/processo. Além disso, mesmo que não haja alterações deve-se regularmente revar a análise confrontando as falhas potenciais imaginadas pelo grupo com as que realmente vêm ocorrendo no dia-a-dia do processo e uso do produto, de forma a permitir a incorporação de falhas não previstas, bem como a reavaliação, com base em dados objetivos, das falhas já previstas pelo grupo.

A aplicação desta ferramenta alcança vários campos, conforme atesta Cauchick e Segismundo (2008), que fazem um estudo e aplicam a ferramenta gestão de riscos técnicos para otimizar o processo de tomada de decisão no ambiente de desenvolvimento de novos produtos.

Os autores apontam as conclusões postuladas por Puente *et al.* (2002), que atestam que algumas críticas também podem ser feita ao uso desta ferramenta:

- A avaliação oferecida pelo NPR nem sempre pode ser aferida pelos meios de deteção (“D”);
- Não há uma regra algébrica precisa para a determinação dos índices ocorrência (“O”) e deteção (“D”) no FMEA;
- O cálculo do NPR baseado no produto dos três índices também pode causar distorções, pois enquanto a probabilidade de não-deteção e sua respetiva pontuação seguem uma função linear, a relação entre a probabilidade de ocorrência de uma falha e sua pontuação não é necessariamente linear;
- Diferentes pontuações de “O” e “D” podem levar a um mesmo NPR, apesar de o risco envolvido ser completamente diferente;
- O NPR não consegue medir a efetividade das ações de melhoria propostas.

A metodologias de suporte à manutenção, o RCM, usa o FMEA na sua fase inicial de análise.

Estorilio e Posso (2010) aplicaram o FMEA na cadeia de fornecedores de uma empresa e constataram que muitos fornecedores possuíam um insuficiente entendimento sobre as fases e forma de aplicação da ferramenta. As discrepâncias percebidas variavam na definição dos modos de falha, no seu correto entendimento, na aplicação dos graus de severidade, ocorrência e deteção.

Resumidamente pode-se estabelecer os seguintes benefícios com a aplicação da FMEA:

- Redução no tempo de ciclo de um produto;
- Redução do custo global de projetos;

- Melhorar o programa de testes de produtos;
- Reduzir falhas potenciais em serviço;
- Reduzir os riscos do produto para o consumidor;
- Prevenção de defeitos ao invés de deteção e correção.

Como a metodologia tem como principal característica ser um processo indutivo, sua aplicação requer do utilizador os conhecimentos sobre:

- A técnica FME(c)A;
- O produto ou sistema;
- As funções do produto;
- O meio de aplicação do produto;
- O processo de fabricação;
- Os requisitos dos clientes;
- Os requisitos dos clientes quanto às falhas do produto.

3.2.3 Análise da Causa Raiz

A análise de causa raiz tem como objetivo analisar, de modo lógico, os eventos de falha, identificar todas as causas a nível físico, humano e primário, e definir ações corretivas para evitar suas recorrências, estabelecendo, assim, uma união de fatores baseado em evidências (Sales, 2008). Tem por objetivo analisar e relatar as causas que geraram o evento e permitir a identificação de ações corretivas adequadas. Ou seja, a *Análise de Causa Raiz (RCA)* é um processo estruturado que revela as causas físicas, humanas e latente de qualquer evento indesejável no local de trabalho.

Conforme Vorley e Bushell (2008) é uma técnica que é usada para resolver um problema ou não-conformidade, a fim de obter a causa raiz do problema.

RCA é usada para que se possa corrigir ou eliminar a causa, e evitar que o problema se repita. RCA é simplesmente a aplicação de uma série de técnicas bem conhecidas, de senso comum que pode produzir uma abordagem sistemática, quantificada e documentada para a identificação, a compreensão e resolução de causas subjacentes.

A figura 29 mostra a sequência básica para a implementação desta técnica na busca da causa raiz de um evento e a estrutura apresentada sugere uma sequência em cada uma das etapas a serem seguidas.



Figura 29 - Etapas para aplicação da RCA
(Fonte: Andersen e Fagerhaug, 2006).

Desde o entendimento do problema ao estudo da causa básica, a RCA recorre a várias técnicas, algumas das quais já foram descritas netes texto: *FMEA*, *Gráfico de Pareto*, *Diagrama de Ishikawa*, *5W2H*, *Troubleshooting (tentativa e erro)* e *Árvore de Falhas*.

A metodologia pode ser utilizada em variadas áreas com diversas finalidades, conforme exposto a seguir:

- Na melhoria da fiabilidade: reduzindo a taxa de falhas; aumentando o MTBF; diminuindo o MTTR; eliminando e prevenindo falhas;
- Na investigação de acidentes e incidentes: identificando causas físicas, humanas e primárias; identificando oportunidades de melhorias e prevenindo recorrências;
- Na melhoria de serviços: melhorando a qualidade; promovendo programas de capacitação; priorização de tarefas; avaliando as políticas, metas e objetivos; avaliando procedimentos, padrões e métodos; aumentando a produtividade e a comunicação; sendo mais efetivos na gestão de custos e mão-de-obra;
- Na melhoria de sistemas de gestão: avaliando as políticas, metas e objetivos; avaliando procedimentos, padrões e métodos; aumentando a produtividade e a comunicação; sendo mais efetivos na gestão de custos.

A determinação do sistema que deve ser analisado está relacionado com a área operacional/produção, processos administrativos, etc., como por exemplo, equipamentos de produção, acidentes e incidentes, procedimento/instrução operacional, recebimento de matéria-prima, expedição de produto e qualidade.

A falha pode ser definida como sendo qualquer evento indesejável que causou paragem, diminuiu a disponibilidade operacional, causou perda de qualidade do

produto, aumentou o custo de reparação, causou acidente ou incidente ambiental, atrasou a expedição do produto.

A seleção da equipa passa pela escolha do facilitador, líder da equipa de análise, pessoal técnico, operadores, fornecedores e clientes. Por fim, as metas e objetivos devem estar alinhados com o negócio e isto implica estabelecer indicadores para medir o progresso das atividades e definir objetivos da análise (eliminar a causa primária e/ou minimizar o efeito).

Alguns dos benefícios que a aplicação da metodologia traz são listados a seguir:

- Economiza tempo gasto para reparar falhas, permitindo tempo para ações de melhorias, além de melhorar a capacidade para solucionar problemas;
- Melhora a fiabilidade e a manutibilidade, resultando no aumento da disponibilidade operacional;
- Melhora a qualidade de processos, produtos e serviços;
- Melhora os resultados de segurança, saúde ocupacional e meio ambiente;
- Previne a recorrência das mesmas falhas no futuro;
- Captura e mantém o conhecimento do produto e do processo na organização;
- Incentiva todas as áreas/atividades dentro da organização à melhoria contínua;
- Identifica as preocupações de segurança e aumenta a satisfação do cliente.

A figura 30 abaixo mostra algumas das técnicas disponíveis que dão suporte à aplicação das várias etapas da metodologia.

Entendimento do Problema	Ideias para a Causa do Problema	Coleta de Dados para a Causa do Problema	Análise de Dados da Causa do Problema	Identificação da Causa Raiz	Eliminação da Causa Raiz	Implementação da Solução
<ul style="list-style-type: none"> • Fluxograma • Incidente crítico • Gráfico aranha • Matriz de desempenho 	<ul style="list-style-type: none"> • Tempestade de ideias • Ideias escritas • Matriz é-não-é • Técnica nominal de grupo • Comparações pareadas 	<ul style="list-style-type: none"> • Amostragem • Inquéritos • Lista de verificação 	<ul style="list-style-type: none"> • Histograma • Gráfico de Pareto • Gráfico de dispersão • Diagrama de concentração de problemas • Diagrama de relações • Diagrama de afinidade 	<ul style="list-style-type: none"> • Gráfico de Causa e Efeito • Diagrama Matricial • Cinco Porquês • Análise Árvore de Falhas 	<ul style="list-style-type: none"> • Os seis chapéus pensantes • Teoria da resolução de problemas inventivos • Pensamento inventivo sistemático 	<ul style="list-style-type: none"> • Diagrama de árvore • Análise das forças externas

Figura 30 - Soluções RCA
(Fonte: Andersen e Fagerhaug, 2006).

No anexo IV apresenta-se uma tabela que detalha várias das ferramentas disponíveis para serem utilizadas no âmbito de cada etapa da análise da causa raiz de um problema.

3.2.4 Árvore de Falhas

Para Pinto (2013) a Árvore de Falhas ou *Fault Tree Analysis* (FTA) é uma análise dedutiva, *top-down*, orientada para a resolução de falhas recorrendo à lógica booleana para combinar uma série de eventos. Recorre a uma simbologia própria que permite mapear os diferentes estados de um sistema e, assim, determinar a probabilidade de ocorrência de um dado evento, seja ele uma avaria funcional ou acidente. A Árvore de Falhas recorre a diagramas que representam a relação lógica entre falhas de componentes e subsistemas e a forma como se combinam para causar a falha do sistema. A falha do sistema é descrita por portas lógicas relacionando-a com as falhas de componentes, mais conhecidos *como eventos básicos*. Depois de criado o diagrama (árvore), os dados relativos às falhas são atribuídos aos componentes. A análise é, então, executada para calcular a fiabilidade do sistema e identificar os seus componentes críticos.

Assis (2010) indica que a FTA é outra técnica usada na análise de condição de falha, baseada na construção de um fluxograma lógico onde se relacionam de modo sistemático todos os eventos que possam provocar ou concorrer para a falha de um órgão ou equipamento. Salienta ainda que a FTA é uma ferramenta auxiliar para uma FMEA. Na sua observação, invoca o facto de que a árvore de falhas pode assumir tanto uma abordagem *qualitativa* como *quantitativa*. A abordagem é *Qualitativa* porque relaciona logicamente os eventos que tomam parte no processo de falha usando a simbologia de circuitos lógicos e da álgebra de Boole. *Quantitativa* porque é indicada em cada evento a correspondente probabilidade de falha, o que vai permitir a realização de cálculos de fiabilidade dos subconjuntos e do próprio sistema.

Segundo Lafraia (2001) na análise qualitativa, o objetivo é determinar as causas básicas de um evento ou a sequência que levou ao mesmo. Na análise quantitativa, o objetivo é determinar a probabilidade de ocorrência do evento.

Fogliatto e Ribeiro (2009) definem a FTA como um método sistemático para a análise de falhas e é um diagrama lógico que representa as combinações de falhas entre os componentes que acarretam um determinado tipo de falha do sistema global, onde um sistema pode ser um projeto, processo, equipamento, empreendimento, etc.

A árvore de falha refere-se a um *evento topo* específico e prossegue de forma descendente com os *eventos intermédios* até chegar aos *eventos básicos*, onde todos os eventos são descritos através dos símbolos lógicos. É largamente utilizada para avaliar a fiabilidade e/ou segurança de sistemas complexos. Em sistemas complexos é

importante analisar os possíveis mecanismos de falha e desenvolver análises probabilísticas para a taxa esperada de tais falhas. É importante notar que, somente depois do funcionamento de um sistema estar totalmente entendido, é que o analista deve iniciar a construção da Árvore de Falhas.

A metodologia envolve os seguintes passos:

1. Seleção do Evento Topo, ou seja, do evento não desejado a ser analisado e definir a configuração do sistema;
2. Determinação dos fatores contribuintes;
3. Construção do diagrama lógico da árvore de falhas;
4. Simplificação booleana;
5. Aplicação dos dados quantitativos;
6. Determinação da probabilidade de ocorrência do Evento Topo.

A figura 31 mostra a simbologia utilizada na construção de uma árvore de falhas e seus respectivos significados. A figura 32 mostra, de forma simplificada, as expressões usuais na álgebra de Boole usadas na simplificação da FTA, considerando A, B e C eventos de falha.

Símbolos	Definições
	Evento falha: é usualmente o resultado da combinação lógica de outros eventos.
	Evento falha primário (independente).
	Evento falha não totalmente desenvolvido com relação às suas causas (é apenas um evento falha assumido).
	Operação união de eventos, isto é, o evento saída ocorre se uma ou mais entradas ocorrem.
	Operação intersecção de eventos, isto é, o evento saída ocorre se, e somente se, todos os eventos entradas ocorrem.
	A saída existe quando X existe e a condição A está presente. Esta porta funciona como uma porta E e é utilizada para um evento falha secundário X.
	Os símbolos “triângulo” permitem evitar repetições numa árvore de falhas ou para transferir a construção de uma árvore de uma folha para a próxima. A letra interna representa o ramo a ser considerado.

Figura 31 - Simbologia para construção de uma FTA
(Fonte: Lafraia, 2001).

Propriedades Básicas da Álgebra Booleana	
Lei Comutativa	$\rightarrow A \cdot B = B \cdot A$ $\rightarrow A + B = B + A$
Lei Associativa	$\rightarrow A \cdot (B \cdot C) = (A \cdot B) \cdot C$ $\rightarrow A + (B + C) = (A + B) + C$
Lei Identidade (idempotente)	$\rightarrow A \cdot A = A$ $\rightarrow A + A = A$
Leis de Absorção	$\rightarrow A + (A \cdot B) = A$ $\rightarrow A \cdot (A + B) = A$ $\rightarrow A + (B \cdot C) = (A + B) \cdot (A + C)$
Lei Distributiva	$\rightarrow A \cdot B + A \cdot C = A \cdot (B + C)$ $\rightarrow A \cdot \bar{A} = 0$
Complementar	$\rightarrow A + \bar{A} = 1$ $\rightarrow \bar{\bar{A}} = A$ $\rightarrow \overline{(A \cdot B)} = \bar{A} + \bar{B}$
Teorema de De Morgan	$\rightarrow A + \bar{B} = \bar{A} \cdot \bar{B}$ $\rightarrow A + \bar{A} \cdot \bar{B} = A + B$
Outras	$\rightarrow \bar{A} \cdot (A + \bar{B}) = \bar{A} \cdot \bar{B}$

Figura 32 - Propriedades básicas da álgebra de Boole
(Fonte: Lafraia, 2001).

Conforme Pinto (2013) a FTA pode ser usada nas seguintes fases de vida do equipamento:

- Em projeto - a FTA pode ser usada para descobrir modos de falhas ocultos que resultam da combinação das falhas de subsistemas ou componentes ou por erros de operação;
- Em operação - a FTA pode ser usada para identificar combinações potenciais de falhas que possam causar falhas, avarias ou acidentes quanto em operação, podendo estas falhas resultar da ação humana (intencional ou não), dos materiais usados, das características de construção do equipamento (fiabilidade e disponibilidade) e de fontes de energia.

A figura 33 mostra uma aplicação da FTA para um caso simples.

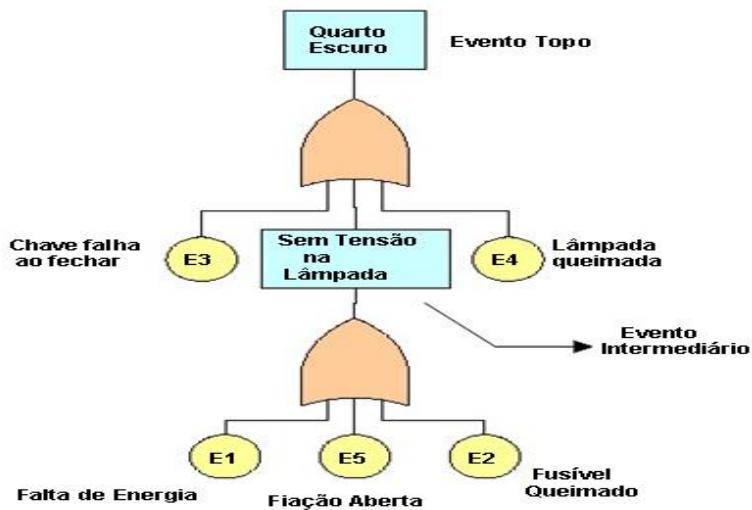


Figura 33 - Exemplo prático de aplicação de uma FTA
(Fonte: Sales, 2008).

Algumas considerações devem ser feitas durante o estudo, a saber:

1. Eventos falha que podem contribuir para a ocorrência do Evento Topo são identificados e ligados ao Evento Topo por funções conectivas lógicas até que a estrutura da Árvore de Falhas é criada. A construção da árvore, graficamente, através do arranjo dos eventos dentro da estrutura da árvore, utiliza símbolos lógicos chamados “Gates” (portão/porta);
2. Quando o Evento Falha contribuinte não pode ser mais dividido ou quando se decide limitar a análise de um subsistema, o “braço” ou “ramo” correspondente é encerrado com um “Evento Básico”. O Evento Básico de um “ramo” é chamado de “Evento Falha Primária”, caso o subsistema tenha falhado devido a uma falha básica, tal como: uma falha de estrutura, uma falha para abrir ou fechar ou para começar ou parar de funcionar. O Evento Básico é um “Evento Falha Secundária” se o subsistema está fora de tolerância, de modo que falha devido a esforços operacionais ou ambientais existentes sobre o elemento do sistema;
3. Na prática, todos os Eventos Básicos são considerados “Estatisticamente Independentes”, a menos que eles sejam classificados como “Falhas de Causa Comum”. Tais falhas são aquelas que decorrem de uma Causa Comum ou Evento Iniciador;
4. Uma vez que a estrutura da árvore tenha sido estabelecida, a análise pode ser conduzida de duas formas: análise qualitativa e quantitativa.

A Análise Qualitativa visa reduzir a árvore para uma forma logicamente equivalente em termos de combinação dos eventos básicos suficientes para causar a ocorrência do evento superior. Cada combinação será um “*Minimal Cut Set - Conjunto de Corte Mínimo*” dos modos de falha para a árvore. Um *conjunto de cortes mínimos* é um conjunto de eventos, os quais não podem ser reduzidos em número, e cuja ocorrência causa a ocorrência do evento superior. Um procedimento para reduzir a árvore para uma forma logicamente equivalente é feito através do uso da “álgebra booleana”. Um segundo procedimento é o numérico, neste caso, a estrutura lógica é usada como um modelo de tentativas e erros para testar os efeitos de combinação de eventos de Falhas Primárias.

A Análise Quantitativa consiste em transformar a estrutura lógica estabelecida numa forma probabilisticamente equivalente e calcular numericamente a probabilidade de ocorrência do evento superior a partir da probabilidade de ocorrência dos eventos básicos. A probabilidade do evento básico é a probabilidade de falha do componente ou subsistema durante um período de tempo “T”;

5. Uma vez construída, a árvore de falhas pode ser descrita por um conjunto de equações algébricas booleanas, uma para cada parte da árvore. Para cada porta, os eventos entrada (tais como, os eventos primários) são variáveis independentes e os eventos saída (tais como, os eventos intermediários) são variáveis dependentes. Utilizando-se as regras booleanas, é possível resolver essas equações de modo que o evento superior e os eventos intermediários são individualmente expressos em termos dos conjuntos de corte mínimo que envolvem somente eventos básicos;

6. Há duas abordagens que podem ser seguidas para o cálculo da probabilidade, dependendo do tamanho da árvore e da informação desejada. 1. Se os conjuntos de corte mínimo são conhecidos, e as probabilidades podem ser expressas em termos da probabilidade de cada evento básico; 2. A aproximação para eventos raros é válida, e consiste em executar os cálculos de baixo para cima, que correspondem a associações em série (E) e em paralelo (OU), através das equações abaixo:

$$Q_{OU} = 1 - \prod_{j=1}^k (1 - Q_j) \quad (3.21)$$

$$Q_E = \prod_{j=1}^k Q_j \quad (3.22)$$

Onde:

Q_E - evento probabilidade de falha da saída da porta AND

Q_{OU} - evento probabilidade de falha da saída da porta OU

Q_j - evento probabilidade do evento falha da entrada "j".

k - número total de eventos falha independentes de entrada.

Embora a FTA tenha algumas limitações como, por exemplo, não permitir a determinação direta de itens críticos, a visualização da técnica de validação da análise e a execução de análise de criticidade, apresenta diversos benefícios, conforme citado por Lafraia (2001):

- Conhecimento aprofundado do sistema e de sua fiabilidade;
- Deteção de falhas singulares impulsionadoras de eventos catastróficos e da sequência de eventos mais prováveis;
- Possibilita decisões de tratamento de riscos baseados em dados quantitativos;
- Pode ser realizada em diferentes níveis de complexidade;
- Resultados ótimos podem ser conseguidos apenas com a análise qualitativa;
- Complementa-se com a FMEA;
- Permite a determinação de falhas potenciais que seriam difíceis de serem detetadas;
- Permite a determinação de partes críticas para teste de produtos;
- Ajuda na determinação da causa de falhas e possibilita verificar a interação entre as causas.

A figura 34 mostra um exemplo desenvolvido no software blocksim para construção de uma FTA, bem como duas técnicas para calcular a probabilidade de falha de um dado sistema. No exemplo, considera-se que $P(A)=0,01$ (probabilidade de ocorrência de falha ou probabilidade de ocorrência do evento A),

$P(B)=P(C)=P(D)=P(E)=0,1$ (probabilidade de ocorrência dos eventos B, C, D e E respectivamente).

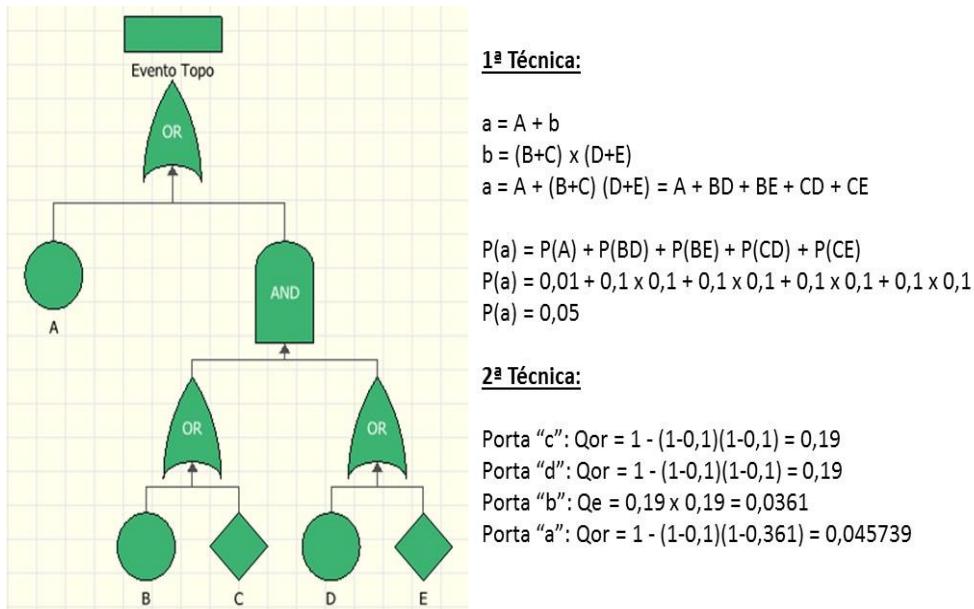


Figura 34 - Construção de uma FTA usando Blocksim.

A aplicação da FTA terá sempre associado um determinado tempo e custo, os quais dependem, em grande parte, da complexidade do equipamento/sistema a ser analisado, da gravidade das consequências e do nível da resolução determinado.

Por outro lado, quando se aplica alguma ferramenta de suporte na análise de falhas, é muito comum estabelecer uma associação entre a FMEA e a FTA.

O uso preferencial da FMEA ou da FTA depende do problema a ser estudado. Uma comparação entre os dois métodos é feita nas tabelas 6 e 7 onde se indica a ferramenta mais adequada, segundo algumas características.

Tabela 6 - Comparação entre FMEA e FTA: Aplicação.

Comparação entre FMEA e FTA - Característica melhor para:		
Característica	FTA	FMEA
Analizar falhas múltiplas	X	
Analizar falhas isoladas		X
Evitar a análise de falhas não críticas		X
Identificar eventos de alto nível causado por eventos de nível mais baixo	X	
Ter uma abrangência maior ao analisar a falha		X
Ter menos restrições e ser mais fácil de seguir	X	
Identificar influências externas	X	
Identificar características críticas		X
Prover um formato para validação dos planos		X

(Fonte: Lafraia, 2001).

Tabela 7 - Comparação entre FMEA e FTA: Uso.

Comparação entre FMEA e FTA - Característica usar quando:		
Característica	FTA	FMEA
Análise quantitativa	X	
Não há necessidade de se garantir que a falha de cada componente seja analisada		X
Informação é limitada às características do sistema e a funções básicas	X	
Informações de projeto detalhadas em desenhos e especificações		X
Avaliar alternativas de projeto/abordagem	X	
Avaliar redundâncias	X	
Avaliar integridade do projeto, incluindo: deteção de falhas e failure-safe		X
Análises dedutivas de cima para baixo	X	
Análises indutivas de baixo para cima		X

(Fonte: Lafraia, 2001).

Pode-se afirmar que, no desenvolvimento de uma FMEA, o raciocínio é feito de *baixo para cima*, sendo a sua aplicação útil para, a partir de um item, mapear os possíveis modos e efeitos de falha associados a um item, ao passo que na FTA, o raciocínio é feito de *cima para baixo*, sendo a sua aplicação útil para, a partir de um efeito indesejável - Evento Topo, definir quais os itens que estão associados com esse efeito.

3.2.5 As Oito Disciplinas - 8D's

O relatório das oito disciplinas, mais conhecido como 8D ou *Team Oriented Problem Solving - TOPS 8D*, foi desenvolvido para ser uma ferramenta auxiliar no entendimento de um fenómeno quebra-falha, que resulte na perda de função de uma máquina e/ou processo.

Tarartuch (2009) define a metodologia 8D (8 Disciplinas) como sendo uma metodologia complementar e simultaneamente integradora de todos os métodos que se têm revelado mais eficazes, introduzindo meios que procuram assegurar a fabricação dos produtos e que proporcionem a proteção do cliente.

Para Rambaud (2011), 8D representa oito disciplinas e incorpora todos os aspetos importantes de investigação e gestão de problemas em um único processo estruturado. A busca da causa raiz e o desenvolvimento de um plano de ação permite o estudo do aparecimento de uma falha de modo a se elaborar um plano que evite a sua reincidência e/ou frequência, conforme visualizado na figura 35, que mostra cada etapa da metodologia.



Figura 35 - Sequência básica de aplicação do 8D
(Fonte: Rambaud, 2011).

D1 - Formação da equipa: a formação de uma equipa adequada para a resolução do problema é fundamental para o sucesso do 8D.

- Gestor:* terá a autoridade para implementar a ação corretiva, liderar e analisar os avanços passo a passo;
- Anotador:* regista o que foi decidido, além de elaborar e distribuir as atas das reuniões;
- Facilitador:* responsável pela participação e concentração de cada elemento da equipa, caso seja necessário, além de esclarecer possíveis dúvidas;
- Controlador do tempo:* responsável pelo controle de tempo das tarefas e discussões.

D2 - Descrição do problema: a finalidade deste passo, o mais importante da metodologia 8D, é descrever o problema, identificando o que está errado. pretende-se ainda detalhar os problemas em termos quantitativos, identificar o objeto e o defeito e definir o problema o mais precisamente possível.

D3 - Ações de contenção (provisórias): as ações de contenção são aquelas que são adotadas, em princípio, provisoriamente. Essas ações podem se tornar permanentes, se for comprovada a sua eficácia (em todos os aspectos, efetividade, custo, etc.) ou então, se não houver outra opção. Toda a ação de contenção aumenta o custo do produto. Por isso, a sua implementação deve ser analisada com muita atenção, tomando-se o cuidado de monitorizá-la até à implementação das ações permanentes.

D4 - Causa raiz: esta disciplina identifica o que ocasionou o problema, qual foi a "causa ou causas prováveis" que explicam, com certa exatidão, o que ocorreu. A equipa demonstra, por meio de dados, a razão da ocorrência do problema e como ele aparece e desaparece, ou seja, procura ter domínio sobre o mesmo, podendo até reproduzi-lo. Durante esta fase é comum recorrer a outras metodologias de suporte para a busca da causa raiz como, por exemplo, *Cinco Porquês*, *5W2H*, *FTA*, *Diagrama de Ishikawa*, entre outras.

D5 - Escolher e verificar as ações corretivas permanentes: a finalidade é escolher uma ação que elimine a causa raiz do problema. A equipa deve ter conhecimentos práticos e específicos sobre a situação, de forma que as ações definidas sejam a melhor opção.

D6 - Implementar ações corretivas permanentes: esta disciplina trata da implementação da ou das ações corretivas permanentes, verificando se foram efetivas e estabelecendo controlos contínuos com o objetivo de certificar que o problema foi resolvido, através de verificações internas e no cliente com base na consistência e confiabilidade dos dados. Nesse ponto as ações de contenção devem ser removidas.

D7 - Ações de prevenção contra reincidência: analisa-se o que será modificado nos sistemas operacionais e procedimentos para evitar que problemas similares possam ocorrer ou se manifeste noutras produtos, linhas de produção ou fábricas. A D7 corresponde ao encerramento técnico do relatório 8D.

D8 - Reconhecimento da equipa: A oitava e última disciplina assinala o término formal da aplicação da metodologia 8D. Pretende mostrar que os gestores participaram da equipa e a apoiaram em todos os sentidos.

O 8D recorre geralmente a um formulário que suporta e documenta as fases da metodologia. Existem alguns critérios para a abertura de um Formulário 8D.

É recomendável abrir um relatório 8D quando:

- Não se conhece a causa ou causas do problema;
- Um problema de repetição ou reincidência de um problema, talvez pelo facto de que as tentativas anteriores não foram eficazes e não surtiram o efeito desejado;
- Um dado problema é considerado grave (custo alto, afeta a segurança) e/ou a falha afeta operações subsequentes ou dependentes;
- O problema é difícil de definir;

- Quando há um discordância ou desacordo em relação ao problema e/ou solução.

Não se recomenda a aplicação da metodologia quando:

- É uma pequena e isolada não conformidade - facilmente corrigida que não se vai repetir;
- O custo de resolução excede quaisquer possíveis problemas futuros.

A figura 36 apresenta um formulário 8D, muito embora muitas empresas adotam seus próprios modelos e definem previamente algumas ferramentas de suporte nas fases D2 e D4, permanecendo inalterados os passos definidos para a aplicação da ferramenta.

Segundo Rambaud (2011), a metodologia é útil na melhoria de produtos e processos, estabelecendo uma prática padrão com ênfase em factos que se centra na origem do problema por meio da determinação da causa raiz.

RELATÓRIO DE 8 DISCIPLINAS

No. 21

EMISSÃO: 08/05/07

1 FORMAÇÃO DA EQUIPE <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="width: 33%;">NOME</th> <th style="width: 33%;">FUNÇÃO</th> <th style="width: 33%;">RAMAL</th> </tr> <tr> <td>Engenharia Manutenção: Daniel Souza</td> <td>Eng. Manutenção</td> <td>7303</td> </tr> <tr> <td>LIDER:</td> <td>Eng. Manutenção</td> <td>7303</td> </tr> </table> <p style="margin-top: 10px;">Daniel Souza Antonio Santos Cleriston Bertoldo Marcos Paulo</p>	NOME	FUNÇÃO	RAMAL	Engenharia Manutenção: Daniel Souza	Eng. Manutenção	7303	LIDER:	Eng. Manutenção	7303	2 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA - (ANEXAR SE NECESSÁRIO CROQUI / FOTO COMO AUXILIO VISUAL) <p>Máquina: MPM2B1 Deixando Pasta de solda em cima do stencil</p>	3 AÇÃO (ÓES) DE CONTENÇÃO (CORRETIVA) <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 66%;">DESCRIÇÃO</th> <th style="width: 16%;">Responsável</th> <th style="width: 18%;">Data</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Manutenção na Prothead Ajusta de parâmetros de programa.</td> <td>Marcos paulo Daniel Souza</td> <td>9/5/2007 9/5/2007</td> </tr> </tbody> </table>	DESCRIÇÃO	Responsável	Data	Manutenção na Prothead Ajusta de parâmetros de programa.	Marcos paulo Daniel Souza	9/5/2007 9/5/2007
NOME	FUNÇÃO	RAMAL															
Engenharia Manutenção: Daniel Souza	Eng. Manutenção	7303															
LIDER:	Eng. Manutenção	7303															
DESCRIÇÃO	Responsável	Data															
Manutenção na Prothead Ajusta de parâmetros de programa.	Marcos paulo Daniel Souza	9/5/2007 9/5/2007															
4 CAUSAS PROVÁVEIS - (ESPINHA DE PEIXE) <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px;"> NOTA: ELABORAR A ESPINHA DE PEIXE DURANTE AS REUNIÕES DA EQUIPE COM BASE NO BRAINSTORMING (TEMPESTADE DE IDÉIAS) </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px;"> EFEITO Pasta de solda sobre o stencil, curto e insuficiência de solda na placa </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px;"> PRINCIPAIS CAUSAS PROVÁVEIS BASEADAS NA EXPERIÊNCIA DA EQUIPE <ul style="list-style-type: none"> - Calibração da Prhead - Verificação das placas DAC - Troca dos cilindros de pressão da prothead - Usar o squeege com o retainer fixo </div>																	

Figura 36 - Exemplo prático da aplicação do 8D em empresa do setor eletroeletrônico.

5 AÇÕES ESCOLHIDAS / ANÁLISE DA CAUSA E EFEITO		6 COMPROVAÇÃO DAS AÇÕES CORRETIVAS												
DATA ABERT. FECH.	DESCRIPÇÃO DA AÇÃO CORRETIVA / EFEITO	RESPONSÁVEL	% PROGRESSO					INDICADOR	ANTES	DEPOIS	% MELHORIA			
			20	40	60	80	100							
8/5/2007	Calibração da prohead	Daniel	x	x	x	x	x	Não aplicável - Apena visual da impressão do stencil após a printagem						
8/5/2007	Verificação das placas DAC's	Daniel	x	x	x	x	x							
8/5/2007	Usar squeegee com retainer fixo	Daniel	x	x	x	x	x							
8/5/2007	Reinstalação so software	Daniel	x	x	x	x	x							

7 PREVENÇÃO DAS CAUSAS RAIZES		8 CONGRATULAÇÃO DA EQUIPE	
Como se trata de um problema único desse tipo de MPM, não tem como replicar as ações para outras máquinas. Ação para evitar reocorrência : Não tem, mas como Corretiva rápida, ficar com um HD de back up.			

Figura 36 (continuação) - Exemplo prático da aplicação do 8D em empresa do setor eletroeletrônico.

4. AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO NA MANUTENÇÃO

4.1 *Balanced Scorecard*

O *Balanced Scorecard (BSC)* é um sistema de medição de desempenho criado em 1992 por Robert Kaplan e David Norton, o qual combina medidas financeiras e não financeiras.

Conforme registam Martinsons *et al.* (1999), as medidas tradicionais de contabilidade financeira, como o ROI - retorno sobre o investimento, e período de retorno, oferecem uma imagem estreita e incompleta do desempenho do negócio, e a dependência nesses dados dificulta a criação de valor futuro para o negócio. Como resultado, eles sugerem que as medidas financeiras sejam complementadas com outras medidas que reflitam a satisfação do cliente, processos internos do negócio, e a capacidade de aprender e crescer.

Para Kaplan e Norton (1996), o que se mede é o que se consegue depois alterar ou melhorar, daí a importância de um sistema de mensuração que possa descrever o desempenho da organização, não apenas no âmbito da perspetiva financeira, mas também no âmbito das perspetivas operacionais. Ainda segundo os autores, o BSC deverá incorporar um conjunto de relações causa-efeito entre as medições de desempenho e os fatores impulsionadores identificados na estratégia, que são os elementos chave que constituem o modelo BSC.

O BSC traduz a visão e a estratégia de uma unidade de negócios em objetivos e medidas em quatro áreas diferentes: *do cliente, financeira, processos internos e as perspetivas de crescimento e aprendizagem*, que constituem os pilares do sistema BSC, devendo, portanto, ser conectados ao pensamento estratégico da organização.

Kaplan e Norton (1996) abordam o significado de cada uma das perspetivas:

- A perspetiva financeira identifica como a empresa deseja ser vista pelos seus acionistas.
- A perspetiva do cliente determina como a empresa deseja ser vista pelos seus clientes.
- A perspetiva dos processos internos descreve os processos de negócio em que a empresa tem de se destacar a fim de satisfazer os seus acionistas e clientes.
- A perspetiva de crescimento e aprendizagem organizacional está associada as mudanças e melhorias que a empresa precisa para tornar a visão real e verdadeira.

A figura 37 mostra as quatro perspetivas do BSC propostas por Kaplan e Norton (1996).

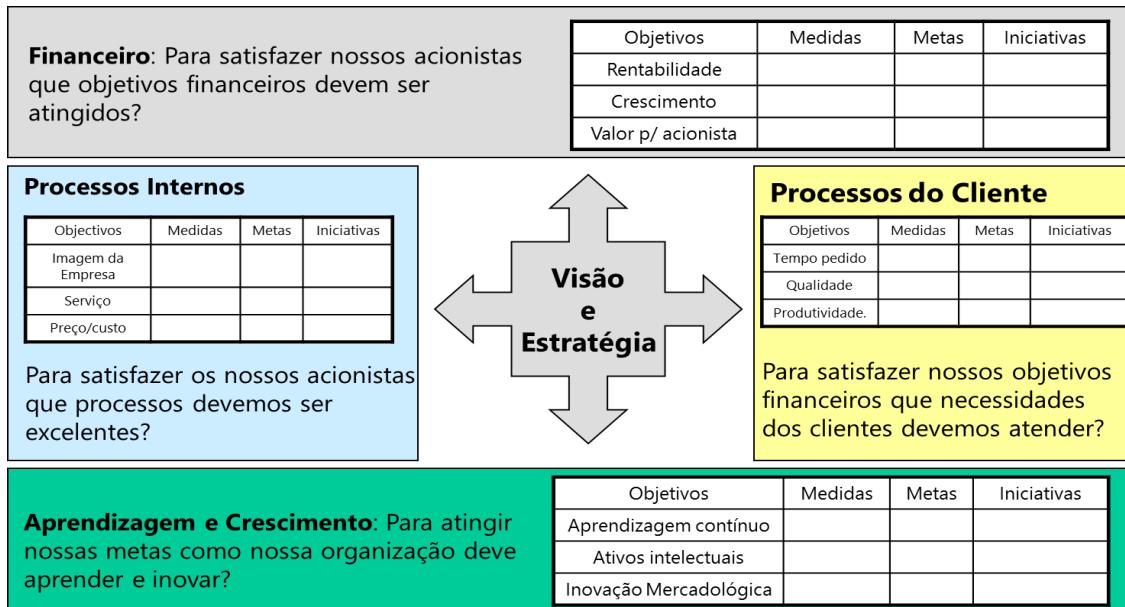


Figura 37 - Quadro perspetivas do BSC
(Fonte: Kaplan & Norton, 1996).

Segundo Norreklit (2000) o Balanced Scorecard é uma ferramenta cuja finalidade é a de alinhar a estratégia expressa nas ações efetivamente realizadas com a estratégia expressa no plano de desenvolvimento da organização. Esta deve ser obtida através da integração do Balanced Scorecard no sistema de controlo existente.

Alsyouf (2006) apresenta um conjunto de medidas de desempenho detalhadas para a manutenção baseado na adaptação do conceito BSC à manutenção. O modelo de Alsyouf (2006) possui três partes, conforme apresentado na figura 38.

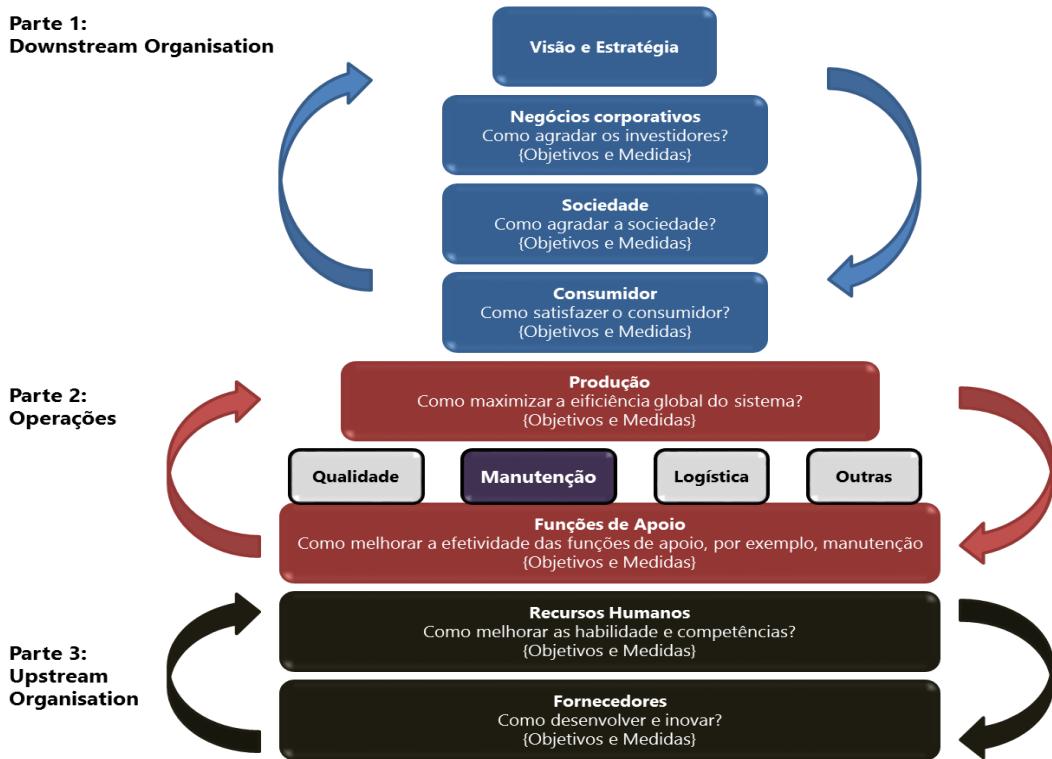


Figura 38 - Adaptação do BSC à manutenção
(Fonte: Alsyouf, 2006).

A primeira parte do modelo proposto inclui as perspetivas financeiras, perspetivas da sociedade e dos consumidores. Os objetivos estratégicos da empresa devem ser definidos de acordo com a visão e a estratégia global da organização. A segunda parte do modelo consiste em duas perspetivas principais: a perspetivas de produção e a perspetivas das atividades de apoio, incluindo qualidade, manutenção e logística. Finalmente, a terceira parte inclui a perspetivas dos recursos humanos e a perspetiva dos fornecedores. Em cada perspetiva do BSC, um conjunto de objetivos estratégicos que são derivados da visão e missão da organização devem ser estabelecidos.

Embora alguns investigadores apontem fragilidades ao BSC (Atkinson *et al.*, 1997; Bontis *et al.*, 1999; Mooraj *et al.*, 1999; Neely *et al.*, 1995), muitas aplicações têm sido feitas em distintos segmentos ou funções das organizações. Existem aplicações em sistemas de informação, Martinsons *et al.* (1999) e Kim (2004) e na gestão do desempenho da manutenção, Tsang (1998), Tsang *et al.* (1999) e Bakhtiar *et al.* (2009). Liyanage e Kumar (2003) procuraram definir uma arquitetura para uma gestão eficaz das operações de manutenção, que foi posteriormente desenvolvida incorporando o conceito BSC.

4.2 Maintenance Scorecard

De acordo com Mather (2005), *Maintenance Scorecard* (MSC) é uma abordagem abrangente usada para desenvolver e implementar estratégias na área de gestão de ativos. Ainda segundo o autor, também serve para identificar iniciativas de melhoria estratégicas com áreas afins desde o início do processo.

No trabalho de aplicação do MSC, Marques (2007) apresenta-o como uma solução para a gestão da manutenção, entre outras possíveis, sendo neste caso uma aproximação detalhada que tem em conta a influência de outras áreas na gestão dos ativos e vice-versa. Assim, comprehende uma abordagem vertical, na qual os objetivos são aplicados a toda a empresa, e uma abordagem horizontal entre as várias áreas de modo a garantir que os recursos estão focados onde é suposto estarem focados.

A abordagem MSC fornece à empresa uma ferramenta para implementar e comunicar uma estratégia corporativa, permitindo introduzir pensamentos inovadores dentro da organização, sobretudo com aqueles relacionados com meios eficientes de crescimento económico ou na gestão de riscos. As três fases para implementação da MSC são:

1. *Desenvolvimento*: definindo os estados desejados de desempenho, necessário para atingir metas e objetivos corporativos. O resultado dessa ação é uma série de medidas quantificadas, metas e instruções que representam os objetivos corporativos.
2. *Criação*: criação do projeto que deve ser gerido da mesma maneira como qualquer projeto de melhoria. Durante esta fase, a maior parte do trabalho definido no estágio de desenvolvimento é realizada. Em particular, a fase de criação centra-se nas definições que são adquiridas do conjunto de informações que são necessários para sustentar a MSC.
3. *Incorporação (Implementar Conceito)*: a fase de incorporação do projeto é a parte mais importante do mesmo e é projetado para garantir o seu sucesso como uma iniciativa estratégica permanente. Esta fase começa desde o início de todo o processo, consistindo principalmente em introduzir os conceitos e os indicadores que devem ser usados nos vários níveis da empresa onde serão aplicados e possui três etapas básicas:
 - Etapa 1: comunicar o trabalho que está sendo feito.
 - Etapa 2: implementação dos processos e iniciativas necessárias para se alcançar as vantagens competitivas que foram inicialmente decididas.
 - Etapa 3: controlo rigoroso dos resultados das iniciativas de gestão, comunicá-los de forma apropriada, bem como dos resultados de todos aqueles envolvidos.

A capacidade do MSC para se focar na organização e aumentar a visibilidade do conjunto de ativos manifesta-se de três formas ao longo da organização:

- O entendimento das capacidades e limitações do conjunto de ativos para atingir os objetivos da corporação;
- Uma compreensão dos dados que serão necessários para efetivamente tomar decisões e gerir esta função;
- Uma compreensão dos processos e iniciativas necessárias para atingir os objetivos corporativos, assim como um plano pensado para os alcançar.

Sendo uma metodologia baseada na medição de desempenho, o MSC é construído em torno do uso de indicadores, ou métricas, com o intuito de liderar o desenvolvimento e implementação da estratégia, aplicando-os e não limitando-se apenas ao seu desenvolvimento. No entanto, é importante saber definir e entender os indicadores a serem usados na implementação do MSC. Desta forma, o MSC pode ser aplicado através de uma hierarquia de objetivos ou uma abordagem estruturada.

A abordagem estruturada consiste em objetivos ligados em três níveis fundamentais, nomeadamente corporativo (empresarial), estratégico e funcional, conforme mostrado na figura 39. A definição de objetivos começa nos níveis corporativos ou executivo de gestão. Isto é feito através da definição das vantagens competitivas, ou objetivos corporativos, de gestão de ativos.

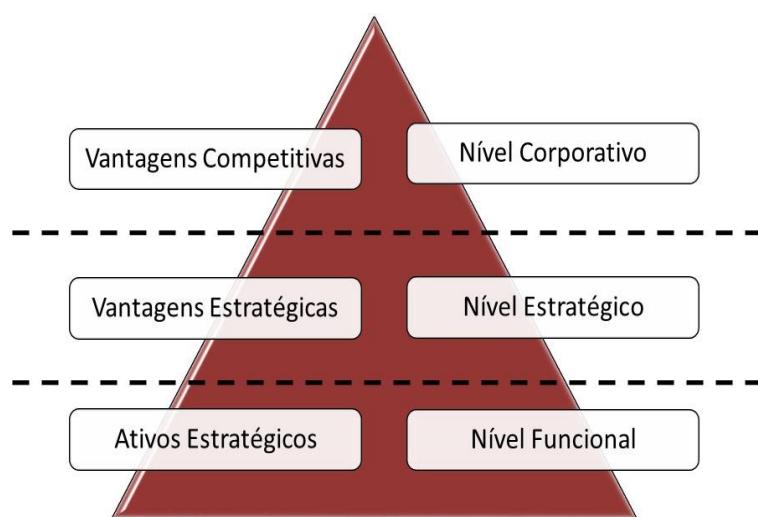


Figura 39 - Hierarquia de objetivos
(Fonte: Mather, 2005).

No contexto do MSC, a definição de vantagem competitiva refere-se ao conjunto de competências e capacidades contidas numa organização que lhe permite competir melhor nos mercados que atua.

No nível estratégico, os objetivos corporativos são convertidos a partir de metas e objetivos cuidadosamente estruturados em estratégias rigorosas para garantir que estes objetivos sejam cumpridos dentro dos prazos exigidos. Dando sequência à abordagem, ativos estratégicos são definidos a nível funcional ou tático das organizações. Os ativos estratégicos são o conjunto de capacidades e competências que são necessárias para que se possa alcançar as metas estratégicas que se pretende atingir.

Para desenvolver um MSC numa empresa, a análise e todas as perguntas são feitas de acordo com o Modelo Base do MSC, apresentado na figura 40. O modelo permite que se façam todas as perguntas relacionadas com as áreas que foram definidas como sendo importantes para a gestão de ativos.

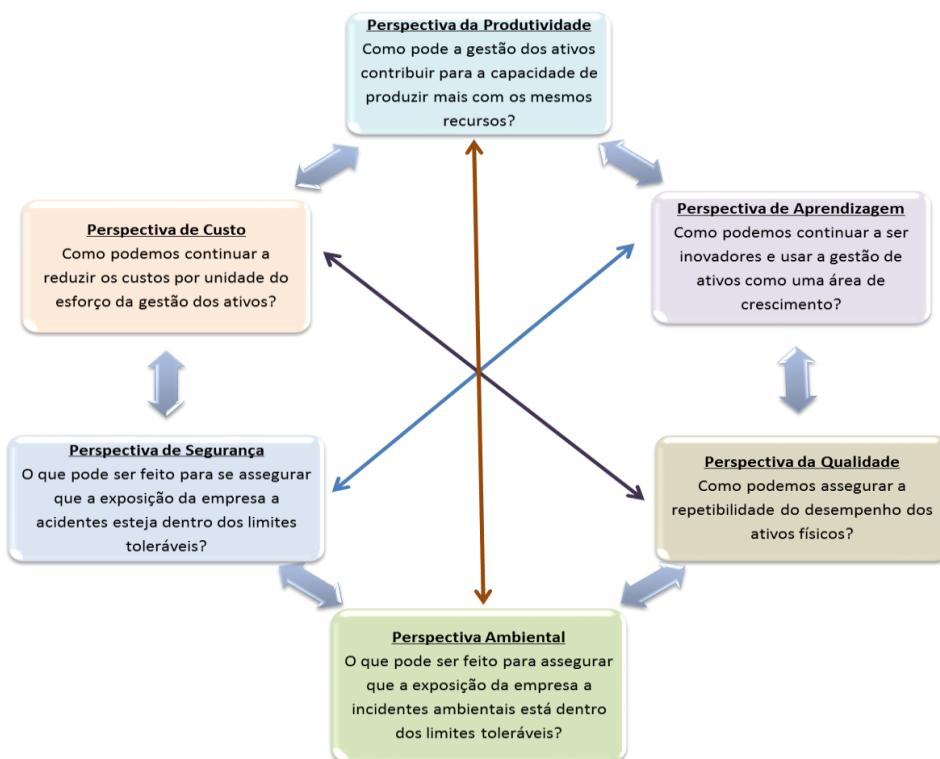


Figura 40 - Modelo do *maintenance scorecard*
(Fonte: Mather, 2005).

A tabela 8 mostra um modelo para preenchimento do MSC a ser desenvolvido.

Tabela 8 - Planilha MSC.

Perspetiva da Produtividade								
Como podemos continuar a reduzir os custos por unidade, do esforço da gestão dos ativos?								
Nível Corporativo			Nível Estratégico			Nível Funcional		
Objetivos	Indicadores	Metas	Qualificação, Capacidade e Aptidões	Indicadores	Metas	Objetivos	Indicadores	Metas

(Fonte: Marques, 2007).

A tabela 9 evidencia uma aplicação prática resultante da utilização da metodologia MSC.

Tabela 9 - Exemplo MSC: Perspetiva da produtividade.

Perspetiva da Produtividade								
Como podemos nós continuar a reduzir os custos por unidade do esforço da gestão dos ativos?								
Nível Corporativo			Nível Estratégico			Nível Funcional		
Objetivos	Indicadores	Metas	Qualificação, Capacidade e Aptidões	Indicadores	Metas	Objetivos	Indicadores	Metas
Eliminação de ineficiência	Índice de atraso de tempo	Redução dos atrasos em processos de manutenção em 30% dentro de 6 meses.	Planeamento e programação de capacidades.	Estimativas de índice.	Índice de estimativa médio de variância de 10% para as tarefas padrão.	Exatidão do banco de dados de procedimentos e modelos de ordens de serviço.	% de ordens de serviço executadas, de todos os tipos de manutenção, com procedimentos e informações de planeamento.	80% de todas as ordens de serviços terão procedimentos no prazo de 12 meses.
						Melhoria contínua "loop" para garantir atualizações regulares e precisas de procedimentos de tarefas e estimativas.	% de ordens de serviço devolvidas ao planeamento e programação com informações precisas.	100% das ordens de serviço a serem devolvidas, com exatidão e informações aprimoradas.
							% de modelos de ordens de serviço e / ou procedimentos atualizados a cada mês.	Meta é ter evidências de uma abordagem pró-ativa para procedimento e atualizações de modelos de ordens de serviço.

(Fonte: Mather, 2005).

4.3 Seleção e uso de indicadores de desempenho na manutenção

Para Weber e Thomas (2005), a medição do desempenho é um princípio fundamental para a gestão e permite identificar a diferença entre o instante atual em comparação com o que se deseja atingir. Segundo Kardec e Lafraia (2002), os indicadores de manutenção são desenvolvidos e utilizados pelos gestores visando atingir as metas operacionais definidas pelas empresas. Existe uma vasta gama de indicadores definidos na manutenção e cabe às empresas selecionar aqueles que lhes são mais adequados. A literatura, no âmbito da manutenção, disponibiliza várias composições e terminologias para indicadores de desempenho, pois estes acabam por se adequar à realidade das empresas.

Neely *et al.* (1997) mostra que vários autores tem discutido a conceção de indicadores de desempenho, como por exemplo Crawford e Cox (1990), Hall (1983), House e Price (1991), Lea e Parker (1989), onde todos afirmam que os indicadores de desempenho devem ser claros, ou seja, simples de entender, devem ter impacto visual, devem focar-se na melhoria e serem visíveis a todos. De acordo com Kutucuoglu *et al.* (2001), vários autores sugerem algumas perguntas que devem ser respondidas para desenvolver um sistema de medição de desempenho eficaz:

- Porquê medir?
- O que deve ser medido?
- Como deve ser medido?
- Quando deve ser medido?
- Quem deve medir?
- Como deve ser utilizado o resultado?

Wireman (2005) define um conjunto de indicadores para a manutenção e divide-os nos seguintes grupos: (a) corporativos, (b) financeiros, (c) eficiência e efetividade, (d) tático e (e) desempenho funcional. O autor argumenta ainda que estes indicadores devem estar diretamente ligado com os objetivos corporativos. O autor conclui que os objetivos dos indicadores de desempenho são:

- Tornar claro os objetivos estratégicos;
- Fazer a ligação dos objetivos específicos com os objetivos principais do negócio;
- Dar foco aos fatores críticos de sucesso e acompanhar o desempenho e tendências;
- Identificar possíveis soluções para os problemas.

Conforme Tavares (1999) existe um grupo de indicadores mundialmente aceite e sua terminologia é igualmente adotada em vários países. Tais indicadores são conhecidos como “indicadores de classe mundial” e são usualmente agrupados em:

- Gestão de Equipamentos;
- Gestão de Custos;
- Gestão de mão-de-obra;
- Atividades da manutenção;
- Organização da manutenção.

O desenvolvimento da Manutenção na busca da Excelência ou Classe Mundial passa pela identificação e adequação das melhores práticas. Isso significa modificar a forma de atuar o que requer um certo tempo, desde o planeamento até à implementação e avaliação dos resultados práticos. As empresas devem possuir indicadores de desempenho que garantam a estabilidade e previsibilidade do processo de manutenção. Em geral, os indicadores são medidas ou dados numéricos estabelecidos sobre os processos que se querem controlar e, na manutenção, incluem geralmente Disponibilidade; tempo médio entre avarias (MTBF); tempo médio de reparação (MTTR); eficácia do equipamento (OEE); Custos; Perdas de produção relativas à manutenção; entre outros.

Para Filho (2008), a medição de desempenho torna-se inútil se não vier acompanhada de um grupo de ações concretas. Para Oliveira et al. (2009), as políticas de manutenção e as estratégias de prevenção associadas devem garantir o equilíbrio e, sobretudo, a melhoria dos indicadores de desempenho, incluindo aqueles relacionados com a medição da disponibilidade, custos, perdas, planeamento e execução das atividades de manutenção, maximizando aqueles relacionados com a eficácia, planeamento e disponibilidade de equipas e minimizando aqueles relacionados com as perdas oriundas de um processo de manutenção, sendo que para os indicadores de custos o seu equilíbrio é o desejável, conforme sugerido na figura 41.

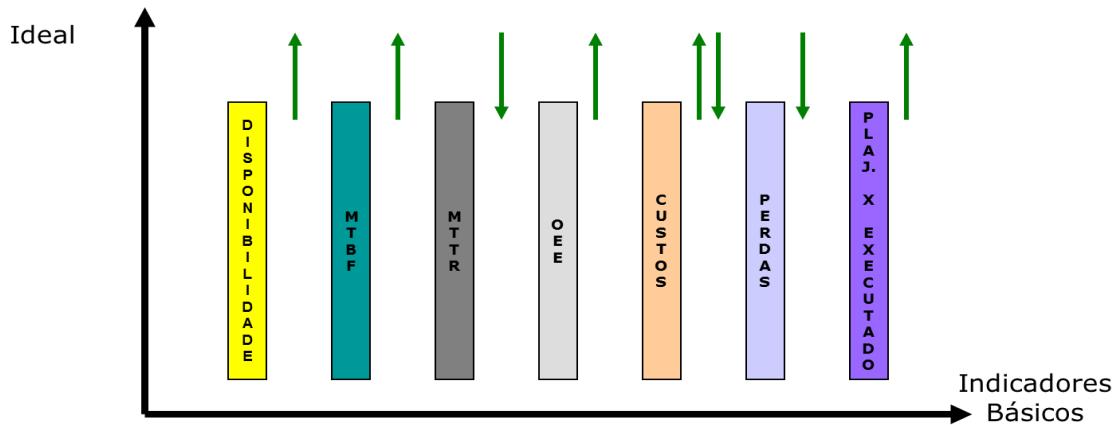


Figura 41 - Proposta de modelo de indicadores de desempenho para gestão da manutenção
(Fonte: Oliveira *et al.*, 2009).

A norma NP EN15341:2009 propõe um conjunto de indicadores agrupados em três níveis distintos e classificados em indicadores económicos, indicadores técnicos e indicadores organizacionais. Filho (2006) classifica os indicadores de desempenho da manutenção, em indicadores de produtividade, indicadores de desempenho de máquinas, indicadores de mão-de-obra, indicadores financeiros da manutenção e indicadores de gestão de material.

Wireman (2005) define uma lista de funções exigidas pela maioria dos departamentos de manutenção e propõe indicadores para manutenção preventiva, compras, sistemas de fluxo de trabalho, sistemas informáticos de gestão de manutenção (CMMS), sistemas de gestão de ativos (EAM), formação técnica e interpessoal, manutenção preditiva, envolvimento operacional, Manutenção Centrada na Fiabilidade (RCM), Manutenção Produtiva Total (TPM), otimização estatística financeira e melhoria contínua.

Resumidamente, de acordo com Cabral (2006), os indicadores têm de ser fáceis de calcular a partir da informação gerada no dia-a-dia. Além disso, estabelecer um indicador, no âmbito da manutenção, sem que esta esteja realmente organizada, fará com que a informação não flua de forma fiável, sendo que uma prévia organização da manutenção faz-se necessária. O autor propõe uma estratégia simples e eficiente para melhorar o desempenho envolvendo a determinação de indicadores de desempenho, conforme ilustrado na figura 42, onde se percebe uma clara definição das etapas para esta finalidade.

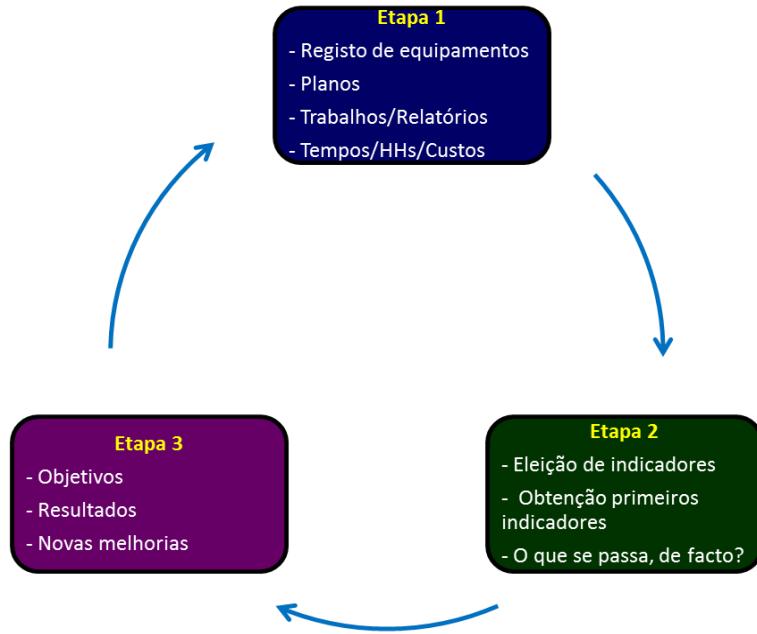


Figura 42 - Etapas de introdução de melhorias na manutenção
(Fonte: Cabral, 2006).

A identificação dos custos na manutenção é bastante relevante, pois estes definem e modelam as estratégias da organização no âmbito da manutenção. Em tempos passados, a manutenção era vista como um centro de custo, a abordagem atual permite-nos reavaliar esse conceito reclassificando a manutenção como um centro de lucratividade ao invés de despesas.

Os custos de manutenção estão ligados às práticas adotadas. Numa unidade onde a atuação da manutenção se dá de forma reativa, configurando uma manutenção corretiva não planeada, os custos serão mais elevados. Quando se adota uma postura preditiva, ao mesmo tempo que aumenta a disponibilidade dos ativos pela não intervenção, resultam custos finais de manutenção menores. Paradoxalmente, é importante salientar que, nem sempre o custo mínimo é o melhor custo. É preciso ter uma visão estratégica e realizar um planeamento adequado para as atividades relacionadas com formação das equipas e recursos operacionais (peças, equipamentos e ferramentas).

Conforme Salonen e Deleryd (2011), a manutenção é realizada tanto para a prevenção como para a correção de falhas em equipamentos de produção. É importante perceber que a manutenção preventiva e corretiva, tanto podem referir-se aos custos de conformidade e custos de não conformidade e estes podem ser adequadamente medidos, de modo a orientar as estratégias da área de manutenção de forma adequada. Enquanto os custos de conformidade levam em consideração os

aspetos relacionados com a necessidade de manutenção corretiva e da manutenção preventiva eficaz, os custos de não conformidade contabilizam os custos derivados de uma ineficiente intervenção corretiva, bem como uma ineficiente intervenção preventiva.

Outra abordagem para quantificar o impacto financeiro de manutenção é proposta por Haarman e Delahay (2004), que se refere ao valor agregado da manutenção (*Value-Driven Maintenance - VDM*), e é usado para o cálculo do retorno sobre investimentos. Além disso, outros modelos financeiros são apresentados por Liyanage e Kumar (2003), que aplica o conceito de balanced scorecard, e Komonen (2002), que propõe uma ferramenta de referência e classifica KPIs para serem usados na manutenção em até seis categorias hierárquicas.

Nas subsecções a seguir, são listados alguns indicadores utilizados no âmbito da manutenção para gestão e controlo, conforme definido em Filho (2006).

4.3.1 Indicadores de desempenho de máquina

Os indicadores de desempenho de máquina são destinados à monitorização dos equipamentos e seus resultados. A seguir são apresentados alguns exemplos.

Índice de preventiva: indica a percentagem de horas de manutenção que foram dedicadas a intervenções preventivas.

$$IP = \frac{HMP}{HMC + HMP} \times 100 \% \quad (4.1)$$

HMP = horas de manutenção preventiva

HMC = horas de manutenção corretiva

Índice de corretiva: indica a percentagem de horas de manutenção que foram dedicadas a intervenções corretivas.

$$IC = \frac{HMC}{HMC + HMP} \times 100 \% \quad (4.2)$$

MTBF: o tempo médio entre falhas é definido como a divisão da soma das horas disponíveis do equipamento para operação (HD) pelo número de intervenções corretivas neste equipamento no período (NC).

$$MTBF = \frac{HD}{NC} \quad (4.3)$$

HD = horas de manutenção preventiva

NC = número de intervenções corretivas

MTTR: o tempo médio de reparação é definido como a divisão da soma das horas de indisponibilidade do equipamento para operação devido à manutenção (HIM) pelo número de intervenções corretivas neste equipamento no período (NC).

$$MTTR = \frac{HIM}{NC} \quad (4.4)$$

HIM = horas de indisponibilidade

NC = número de intervenções corretivas

Taxa média de falhas: permite que se saiba a razão de variação com a qual um item ou uma máquina falha. Esta razão de variação está associada ao tempo de funcionamento.

$$\lambda = \frac{NMCT}{TOPT} \quad (4.5)$$

NMCT = número de manutenções corretivas totais

TOPT = tempo de operação total

EFMP: a eficiência no planeamento da manutenção expressa a razão entre o número de intervenções de manutenção preventiva planeadas num determinado período e o número de intervenções de manutenção preventiva efetivamente executadas no período proposto.

$$EFMP = \frac{MPEX}{MPPL} \times 100\% \quad (4.6)$$

MPEX = número de intervenções de manutenção preventiva executada

MPPL = número de intervenções de manutenção planeadas

DISP: a disponibilidade mede a percentagem de tempo de bom funcionamento de um equipamento ou sistema. A disponibilidade é a razão entre as horas em que o equipamento está disponível para uso ou está a ser utilizado (HT) e as horas totais do período (HG), conforme apresentado na figura 43. A disponibilidade também pode ser calculada de outras formas, incluindo apenas o tempo de paragens devido a avarias.

$$\text{DISP} = \frac{\text{HT}}{\text{HG}} \times 100 \% \quad (4.7)$$

HT = horas trabalhadas

HG = horas totais no período

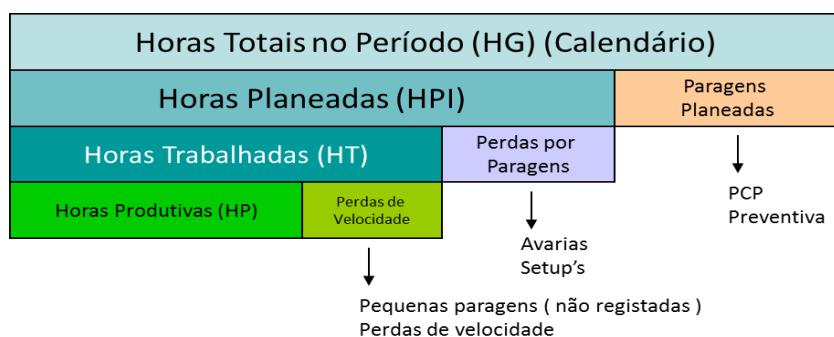


Figura 43 - Escala de tempo para definição de indicadores associados a ativos.

4.3.2 Indicadores de desempenho financeiro

Estes indicadores são destinados à monitorização do desempenho financeiro da manutenção. A seguir, são apresentados alguns exemplos.

CMNT: o custo total de manutenção é o somatório de todas as despesas e gastos de manutenção, tanto de pessoal próprio como de pessoal contratado, tanto de materiais técnicos e administrativos, como sobressalentes e lubrificantes, incluindo máquinas alugadas e despesas de deslocamento, estudos, formação, etc.

$$\text{CMNT} = \text{CMMMP} + \text{CMMMPd} + \text{CMMC} + \text{CMC} \quad (4.8)$$

Obs.: CMMMP, CMMMPd, CMMC e CMCP podem ser estratificados ao nível do equipamento.

CMMMP - Custo de material usado para manutenção preventiva

CMMMPd - Custo de material usado para manutenção preditiva

CMMC - Custo de material usado para Manutenção corretiva

CMCP - Custo de material consumível.

CMUP: o custo de manutenção por unidade produzida mostra o impacto da manutenção no preço final da unidade de produto acabado.

$$CMUP = \frac{CMNT}{\text{Total de Unidade Produzidas}} \quad (4.9)$$

CMNT - Custo total de manutenção.

ACR: a exatidão do estoque mede a percentagem de itens corretos, tanto em quantidade quanto em valor.

$$ACR = \frac{\text{Itens Corretos}}{\text{Total de Itens Contados}} \quad (4.10)$$

GE: o rotação de estoque mede quantas vezes, por unidade de tempo, o estoque se renovou.

$$GE = \frac{\text{Valor Consumido no Período}}{\text{Valor do Estoque Médio do Período}} \quad (4.11)$$

4.3.3 Indicadores de capacidade produtiva

Estes indicadores são destinados à monitorização do desempenho da capacidade produtiva. A seguir, são apresentados dois exemplos.

OEE: a Eficácia Global do Equipamento (*Overall Equipment Effectiveness*) pode ser medida pela produção total de componentes ou partes entregues sem defeitos num determinado período de tempo, dividido pela produção teórica do mesmo período, conforme mostrado na figura 44 abaixo.

$$OEE = \left[\left(\frac{B}{A} \right) \times \left(\frac{D}{C} \right) \times \left(\frac{F}{E} \right) \right] \quad (4.12)$$

$$DISP = \left(\frac{B}{A} \right) = \left(\frac{TOPT}{TOPT + TRPT} \right) \times 100\% \quad (4.13)$$

$$PERP = \left(\frac{D}{C} \right) = \left(\frac{TTCP + NUPP}{TOPT} \right) \times 100\% \quad (4.14)$$

$$\text{QUAL} = \left(\frac{F}{E} \right) = \left(\frac{\text{NUPP} - \text{NUPR}}{\text{NUPP}} \right) \times 100\% \quad (4.15)$$

Onde:

DISP - Índice de disponibilidade.

PERP - Desempenho da produção no uso do equipamento.

QUAL - Índice de qualidade.

TOPT - Tempo de operação total.

TRPT - Tempo de reparo total, tempo de setup, paragens de processo.

TTCP - Tempo teórico do ciclo de produção.

NUPP - Número ou quantidade de peças produzidas neste tempo.

NUPR - Número ou quantidade de peças rejeitadas por qualidade ou para reprocesamento.



Figura 44 - Escala de tempo para definição de indicadores de capacidade.

PMC: a Perda por Manutenção Corretiva mede a perda real de unidades produzidas durante a intervenção em relação à capacidade nominal do período. Pode ser aplicado para qualquer nível de manutenção executado, desde que implique uma paragem no processo produtivo. Este índice pode ser obtido em unidades perdidas, assim como na perda monetária associada a estas unidades perdidas. De acordo com Filho (2006), recomenda-se que, ao se aplicar a equação 4.17, que seja usado o valor financeiro do produto que está a ser produzido.

$$\text{PMC} = [(\text{IND}) \times (\text{CPT})] \quad (4.16)$$

$$\text{PMC} = [(\text{IND}) \times (\text{CPT}) \times (\text{Custo do Produto})] \quad (4.17)$$

Onde:

IND - Índice de indisponibilidade.

CPT - Capacidade nominal do equipamento.

5. OS MODELOS DE MATURIDADE

Os aspectos relacionados com níveis de maturidade têm sido abordados em vários segmentos do conhecimento e a caracterização prática de suas conclusões tem contribuído para o alcance de melhores resultados nas organizações de um modo geral.

Nunes (2008) ressalta a Teoria da Maturidade de Argyris, apresentada em *Personality and Organization*, que é uma das muitas teorias que procura explicar a natureza e comportamento humano. Segundo esta teoria, o desenvolvimento de uma pessoa processa-se, ao longo de um intervalo contínuo, de uma situação de imaturidade para uma situação de maturidade. Uma pessoa madura caracteriza-se por ser ativa, independente, autoconfiante e auto controlada. Pelo contrário, uma pessoa imatura é passiva, dependente, tem falta de confiança e sente necessidade de controlo pelos outros.

Nos seus estudos sobre maturidade de processos, Siqueira (2005) indica que as organizações maduras fazem as coisas de modo sistemático e as imaturas atingem os seus resultados graças aos esforços heroicos de indivíduos, usando abordagens que eles criam mais ou menos espontaneamente.

Organizações maduras atingem os seus objetivos de qualidade, prazos e custos de forma consistente e eficiente. Organizações imaturas criam objetivos, mas, com muita frequência, não os atingem ficando aquém dos resultados desejados.

O termo maturidade é introduzido em vários segmentos do conhecimento, seja na gestão de projetos, nas dimensões qualitativas de uma organização ou nos procedimentos de modelação e desenvolvimento de sistemas. Contudo, todas elas entendem que o resultado será tanto melhor quanto mais alto for o nível de maturidade.

Fraser *et al.* (2002) salientam que produzir um modelo de maturidade que seja genérico e completamente rigoroso pode ser extremamente difícil. Além disso, sugere que algum compromisso será necessário e apropriado no interesse de produzir uma ferramenta útil e utilizável. De acordo com Maier *et al.* (2009), um grande número de modelos de maturidade tem sido proposto para avaliar uma gama de capacidades, incluindo a gestão da qualidade, desenvolvimento de software, relacionamento com fornecedores, eficiência em pesquisa e desenvolvimento, desenvolvimento de produto, colaboração e comunicação, sendo que cada uma dessas avaliações concentra-se num determinado domínio de conhecimento.

5.1 Modelos de maturidade relativos à qualidade

Crosby (1979) estruturou um modelo baseado em cinco níveis incrementais de maturidade para a gestão da qualidade numa organização, designado de Quality Management Maturity Grid. Conforme o modelo proposto, os níveis de maturidade distribuídos em estágios são classificados como: Incerteza, Despertar, Esclarecimento, Sabedoria e Certeza. As categorias de medidas para as quais estas classificações foram atribuídas são distribuídas em: compreensão e atitude da gestão, estado de qualidade da organização, resolução de problemas, custo de qualidade como % das vendas, ações de melhoria da qualidade e resumo da postura da empresa em relação à qualidade, conforme apresentado na tabela 10.

Tabela 10 - Matriz de maturidade da gestão da qualidade.

Categorias de Medição	Estágio I: Incerteza	Estágio II: Despertar	Estágio III: Esclarecimento	Estágio IV: Sabedoria	Estágio V: Certeza
Compreensão e Atitude da Gestão	A qualidade não é compreendida como uma ferramenta de gestão. Tendência para culpar o departamento da qualidade "pelos problemas de qualidade".	Reconhecimento de que a gestão da qualidade pode ser valiosa mas não há disponibilidade para gastar dinheiro ou tempo na implementação.	Enquanto realiza programas de melhoria da qualidade aprende mais sobre gestão da qualidade e torna-se solidário e prestativo.	Participa. Compreende os absolutos da gestão da qualidade. Reconhece o seu papel pessoal para continuar focado.	Considere a gestão da qualidade uma parte essencial do sistema da empresa.
Estado da Qualidade da Organização	A qualidade está escondida nos departamentos de produção ou de engenharia. Provavelmente a inspeção não faz parte da organização. Ênfase na classificação e na avaliação.	É nomeado um líder mais capaz para a qualidade, porém a ênfase continua na avaliação e movimento do produto. A qualidade continua a fazer parte do departamento de produção ou outro.	O departamento de qualidade informa a gestão de topo; toda a avaliação é incorporada e o gestor desempenha um papel na administração da empresa.	O gestor da qualidade é um administrador da empresa; comunicação eficaz do estado e ações preventivas. Envolvimento com os assuntos do consumidor e encargos especiais.	Gestor da qualidade no conselho de administração. A prevenção é a principal preocupação. A qualidade é líder de pensamento.
Resolução de problemas	Os problemas são combatidos à medida que ocorrem; sem resolução; definição inadequada. Muitos gritos e acusações.	As equipas são organizadas para atacar os principais problemas. As soluções de longo prazo não são solicitadas.	É estabelecida a comunicação de ações corretivas. Os problemas são enfrentados abertamente e resolvidos de forma ordenada.	Problemas identificados no início de seu desenvolvimento. Todas as funções estão abertas a sugestões e melhorias.	Os problemas são prevenidos, exceto nos casos mais invulgares.
Custos da Qualidade em % das vendas	Registado: Desconhecido Real: 20%	Registado: 3% Real: 18%	Registado: 8% Real: 12%	Registado: 6.5% Real: 8%	Registado: 2.5% Real: 2.5%
Ações de melhoria da qualidade	Não há atividades organizadas. Não há compreensão de tais atividades.	São empreendidos esforços "motivacionais" óbvios de curto prazo.	Implementação do programa das 14 etapas estabelecendo e compreendendo cada etapa.	Continuação do programa das 14 etapas e início do <i>Make Certain</i> .	A melhoria da qualidade é uma atividade normal e continuada.
Resumo da postura da empresa relativamente à qualidade	"Não sabemos porque temos problemas com a qualidade".	"É absolutamente necessário ter sempre problemas com a qualidade?"	"Através do compromisso da gestão e da melhoria da qualidade conseguimos identificar e resolver os nossos problemas".	"A prevenção de defeitos é parte rotineira da nossa operação".	"Sabemos porque não temos problemas com a qualidade".

(Fonte: Crosby, 1979).

Ainda no âmbito da qualidade, Bessant *et al.* (2001) definiram cinco níveis de maturidade relativos ao desenvolvimento da capacidade de envolvimento na melhoria contínua, uma vez que permite a uma empresa identificar a sua posição em relação às outras e, assim, desenvolver um plano para expandir a sua capacidade em realizar a melhoria contínua, para planear e desenvolver a qualidade nos processos organizacionais, conforme indicado na tabela 11.

Tabela 11 - Modelo de maturidade em melhoria contínua.

Nível	Título	Características
Nível 1	Pré interesse na melhoria contínua	Não existe uma estrutura formal para a melhoria na organização, sendo os problemas solucionados ao acaso, sempre visando um benefício apenas de curto prazo. Além disso, não existem estratégias de impacto nos recursos humanos, como treinamento, desenvolvimento e reconhecimento.
Nível 2	Melhoria continua estruturada	Existe um comitê formal para construir um sistema que desenvolverá a melhoria contínua na empresa, contando com a participação dos funcionários nas atividades, mesmo essas não sendo integradas às operações do dia-a-dia. Os funcionários são treinados nas ferramentas básicas de melhoria e o sistema de reconhecimento é introduzido.
Nível 3	Melhoria contínua dirigida para meta	Existe uma utilização formal dos objetivos estratégicos, sendo as atividades de melhoria contínua parte das atividades gerais de administração.
Nível 4	Melhoria continua proactiva	Há uma tentativa de delegar autonomia e capacitar indivíduos e grupos para gerir e dirigir seus próprios processos. Neste nível, as responsabilidades da melhoria contínua são devolvidas para a unidade de solução de problemas.
Nível 5	Capacidade completa de melhoria contínua	Aproxima-se de um modelo de "organização que aprende", existindo a identificação e solução sistemática de problemas e compartilhamento do aprendizado.

(Fonte: Bessant *et al.*, 2001).

Segundo a norma ISO 9004:2010, denominada *Gestão para o sucesso sustentado de uma organização - Uma abordagem da gestão da qualidade*, uma organização madura que age de forma eficaz e eficiente alcança o sucesso sustentado por meio de: entendimento e satisfação das necessidades e expectativas das partes interessadas; monitoramento e mudança no ambiente da organização; identificação de possíveis áreas de melhoria e inovação; definição e implementação de estratégias e políticas; definição e implementação de objetivos pertinentes; gestão dos processos e recursos; demonstração de confiança nas pessoas da organização, levando a uma maior motivação, comprometimento e envolvimento; estabelecimento de relações mutuamente benéficas com fornecedores e outros parceiros.

O modelo de maturidade no âmbito da qualidade apresentado nesta norma é apresentado no anexo V.

5.2 Modelos de maturidade relativos à projetos de tecnologia da informação

Desde o seu desenvolvimento e aplicação, a matriz de maturidade proposta por Crosby (1979) foi revista e aperfeiçoada, dando origem a novos modelos de maturidade, entre os quais destaca-se o modelo de maturidade denominado *Capability Maturity Models* (CMM), do *Software Engineering Institute* (SEI).

De acordo com Verweire e Van den Berghe (2004), o CMM serve de guia para a melhoria de pessoas, processos e tecnologia de uma organização, com vista a melhorar o desempenho do negócio a longo prazo. Para Strutt *et al.* (2006), *Capability Maturity Models* são instrumentos utilizados para avaliar a capacidade de uma organização em executar os processos chave necessários para entregar um produto ou um serviço.

De acordo com Silveira (2009), o Capability Maturity Model teve como fundamentação conceitual os princípios e práticas da qualidade total, inspirando-se, inicialmente, no modelo de mensuração da gestão da qualidade desenvolvido por Crosby e propõe uma estrutura com cinco níveis que permite estratificar a posição ocupada pela empresa desenvolvedora de software em relação à maturidade de seus processos de gestão de projetos, conforme apresentado na figura 45.



Figura 45 - Níveis de maturidade do modelo CMM
(Fonte: Curtis *et al.*, 1995).

Ainda de acordo com Silveira (2009), outra experiência importante no desenvolvimento de modelos de maturidade aplicados às empresas de tecnologia pode ser creditada ao *Project Management Institute* [PMI], onde, no final do ano de 2003, esse instituto tornou mundialmente conhecido o modelo OPM3 - *Organizational Project Management Maturity Model* (PMI, 2005), que possibilita às empresas produzir e reproduzir com sucesso e de forma consistente ao longo do tempo, um alto desempenho na gestão de projetos. O objetivo do OPM3 é permitir às empresas a visualização das capacidades necessárias, para que possam implementar as estratégias com consistência e previsibilidade. Humphrey (1996) contribuiu para a difusão do modelo CMM e seus derivados, com a versão do CMM para a gestão de pessoas, o *People Capability Maturity Model* (P-CMM).

5.3 Modelos de maturidade relativos à gestão de pessoas

De acordo com Silveira (2009), nos primeiros anos do século XXI uma variedade de modelos baseados em níveis de maturidade, similares ao CMM, começou a ser desenvolvida, destacando-se modelos como o *Contract Management Maturity Model* (Garrett & Rendon, 2005), o *Documentation Process Maturity* (Visconti e Cook, 1993), o *Human Factors Integration Capability Maturity Model* (Earthy et al., 1999), o *Online Course Design Maturity Model* (Neuhouser, 2004), o *Supply Chain Management Process Maturity Model* (Lockamy III & McCormack, 2004). Todos estes modelos apontam um caminho lógico de progressivo desenvolvimento da capacidade nos processos de gestão.

Conforme Curtis et al. (2003), os modelos multiestágios de maturidade somente recentemente começaram a ser aplicados aos recursos humanos nas organizações. Para Dutra (2002), isto pode estar relacionado com o facto de que, tradicionalmente, a gestão de pessoas manteve pouca relação com as esferas estratégicas, limitando-se a atuar como prestadora de serviços internos. O autor afirma ainda que a partir da década de 1990, diante de um ambiente cada vez mais dinâmico e pouco previsível, as organizações passaram a buscar novos conhecimentos e gerir as suas competências individuais e organizacionais, reconfigurando a gestão da força de trabalho e incorporando concretamente a participação dos indivíduos nas decisões e o seu comprometimento e contribuição para a melhoria contínua. Relativamente aos modelos multiestágios que abordam a gestão de pessoas nas organizações, podem ser identificados, principalmente, os modelos *Human Factors Integration Capability Maturity*

Model (Earthy et al., 1999) e o *People Capability Maturity Model* (Curtis et al., 1995, 2002).

O *Human Factors Integration Capability Maturity Model* busca garantir a qualidade em processos industriais, fornecendo os meios para a erradicação de riscos de segurança no trabalho que podem afetar a produtividade com base nas normas ISO. Trata-se de um modelo que se relaciona com as questões ergonómicas no trabalho, indicando, numa escala de maturidade, os níveis crescentes de melhoria da produtividade, desde a instrução dos indivíduos para reconhecerem problemas e riscos, gestão da capacidade dos colaboradores, até o nível final de institucionalização de um alto padrão de qualidade sem riscos humanos. O *People Capability Maturity Model* apresenta-se com uma estrutura baseada em cinco níveis de maturidade que estabelecem as bases para uma melhoria contínua das competências individuais e do desenvolvimento de equipas de trabalho, orientando a gestão de pessoas. Para Silveira (2009), trata-se de um modelo que aborda a gestão das pessoas por completo, ou seja, enfoca todos os processos relacionados com a área de recursos humanos, conforme indicado na tabela 12.

Tabela 12 - Modelo de maturidade em gestão de pessoas: P-CMM.

Nível	Foco	Objetivos	Tipo de Prática	Áreas de Processo
Nível 1 Inicial	Não há	Não há	Não há	Não há
Nível 2 Gerido	Gestão das pessoas	Gestão e desenvolvimento da equipa pelos gerentes	Práticas repetitivas (rotineiras)	Provimento de pessoal
				Comunicação e coordenação
				Ambiente de trabalho
				Gestão do desempenho
				Formação e desenvolvimento
				Remuneração
Nível 3 Definido	Gestão das competências das pessoas	Desenvolvimento de competências e grupos de trabalho, alinhando-os com os objetivos e estratégias do negócio.	Práticas baseadas em competências	Análise de competências
				Planeamento dos recursos humanos
				Desenvolvimento de competências
				Desenvolvimento de carreiras
				Desenvolvimento de práticas-baseadas- em-competências
				Desenvolvimento de grupos de trabalho
				Cultura participativa
Nível 4 Previsível	Gestão das capacidades da empresa	Integração das competências no trabalho e gestão quantitativo do desempenho.	Práticas mensuradas	Integração de competências
				Grupos de trabalho autónomos
				Ativos baseados em competências
				Gestão quantitativa do desempenho
				Gestão da capacidade organizacional
				Orientação e aconselhamento
Nível 5 Otimizado	Gestão das mudanças da empresa	Instauração da melhoria contínua dos processos e alinhamento do grupo de trabalho com capacidade organizacional	Práticas baseadas em melhoria contínua	Melhoria contínua da capacidade
				Alinhamento do desempenho organizacional
				Inovação contínua dos recursos huanos

(Fonte: Siqueira, 2009).

5.4 Modelos de maturidade relativos à gestão da manutenção

No âmbito da manutenção, Antil (1991) propôs um modelo de maturidade fortemente baseado e inspirado no modelo de maturidade desenvolvido por Crosby (1979) para a área da qualidade. Este modelo foi posteriormente utilizado por Fernandez *et al.* (2003) na aplicação de um sistema customizado de gestão de manutenção. Na tabela 13, as cinco classes (que refletem a função manutenção) podem ser identificados. A manutenção evolui de um estado predominantemente reativo nos primeiros estágios para um estágio preventivo e, eventualmente, para um estado preditivo nos últimos estágios. Entretanto, o modelo de maturidade não indica recomendações específicas para a gestão da manutenção de uma organização.

Tabela 13 - Grelha de maturidade organizacional da manutenção.

Categorias de Medição	Estágio I: Incerteza	Estágio II: Despertar	Estágio III: Esclarecimento	Estágio IV: Sabedoria	Estágio V: Certeza
Compreensão e Atitude da Gestão	A Manutenção não é compreendida como uma ferramenta de gestão.	Reconhecimento de que a gestão da manutenção pode ser valiosa.	Enquanto realiza programas de melhoria da manutenção, aprende mais sobre gestão da manutenção e torna-se solidário.	Participativo e reconhece o seu papel.	Considera a gestão da manutenção uma parte essencial do sistema da empresa.
Resolução de problemas	Os problemas são combatidos à medida que ocorrem.	Ainda reativa, mas com peças de reposição disponíveis quando ocorrem falhas.	Problemas resolvidos pela entrada da manutenção, operações, engenharia e controlo de qualidade.	Preditiva usando técnicas de monitorização.	Problemas são prevenidos, aumento da disponibilidade e, portanto, da produtividade.
Postura da empresa relativamente à Manutenção	“Não sabemos porque temos problemas com a manutenção”.	“É absolutamente necessário ter sempre problemas com a manutenção?”	“Nós identificamos e resolvemos problemas”.	“Produtos de qualidade não podem ser feitos com equipamentos mal conservados, portanto, a qualidade da manutenção é uma rotina”.	“Nós não esperamos avarias, pelo contrário, somos surpreendidos quando ocorrem”.
CMMS	Nenhum CMMS é utilizado.	Sistema contém módulos de gestão de ativos e materiais.	Um módulo de monitorização da condição de eventos está integrado no sistema.	Capaz de gerar programações de atividades de manutenção preventiva. É usado para apoiar o processo de tomada de decisão.	Totalmente automatizada, a partir da deteção de falha para a geração de ordens de serviço com base em informações significativas e confiáveis.

(Fonte: Fernandez *et al.*, 2003).

Para Wendler (2012), apesar de vários CMM terem sido desenvolvidos nas últimas décadas, a aplicabilidade de tais modelos na manutenção de ativos é bastante

limitada. Pintelon *et al.* (2014) propõe preencher esta lacuna ao ampliar o conceito desenvolvido por Van Horenbeek e Pintelon (2014), relativamente a uma proposta de medição de desempenho da manutenção (MPM) associando indicadores de desempenho de manutenção com diferentes metodologias de avaliação de risco. Com base nesta abordagem, os autores desenvolvem um modelo de maturidade genérico para manutenção de ativos (AMMM), tendo como objetivo avaliar os processos de tomada de decisão da manutenção nas organizações.

Os cinco passos propostos são:

1. Transformar os fluxos MPM (*Maintenance Performance Measurement*) genéricos em um sistema MPM personalizado tendo em conta todos os níveis organizacionais;
2. Priorizar os objetivos de manutenção em todos os níveis da organização com base em processo de análise de metodologia em rede (ANP);
3. Traduzir as medidas de desempenho de negócios específicos de manutenção em MPI (*Maintenance Performance Indicators*);
4. Medir, monitorar e controlar o desempenho de manutenção baseada em MPI;
5. Melhoria contínua por meio de metas de manutenção redefinidas de acordo com o ambiente de negócios envolvido (medição e aferição de desempenho).

Wireman (1992) também propõe um modelo similar ao desenvolvido por Crosby, contendo cinco estágios e sete classes, conforme detalhado no anexo VI. Tal modelo mostra os estágios progressivos de melhores práticas de manutenção. Por ser uma adaptação ao modelo de Crosby, embora nem todas as questões/áreas sejam aplicáveis em todas as áreas da manutenção, muito pode ser adquirida por avaliações práticas comparativas. Uma organização pode comparar-se com outras organizações de classe mundial e encontrar oportunidades para melhorias de processos e esforços de reengenharia.

Campbell e Reyes-Picknell (2006) também propõem um modelo, a partir de uma pesquisa de campo e do uso do conceito de *Pirâmide de Excelência*, conforme apresentado na figura 46, contendo dez classes e cinco estágios , conforme detalhado no anexo VI. Tal modelo mostra os estágios progressivos de melhores práticas de manutenção.

Cholasuke *et al.* (2004), a partir de um estudo em indústrias britânicas, propôs um modelo de maturidade para a gestão das atividades de manutenção contendo dez classes e apenas três estágios , conforme detalhado no anexo VI. Tal modelo mostra os estágios progressivos de melhores práticas de manutenção.

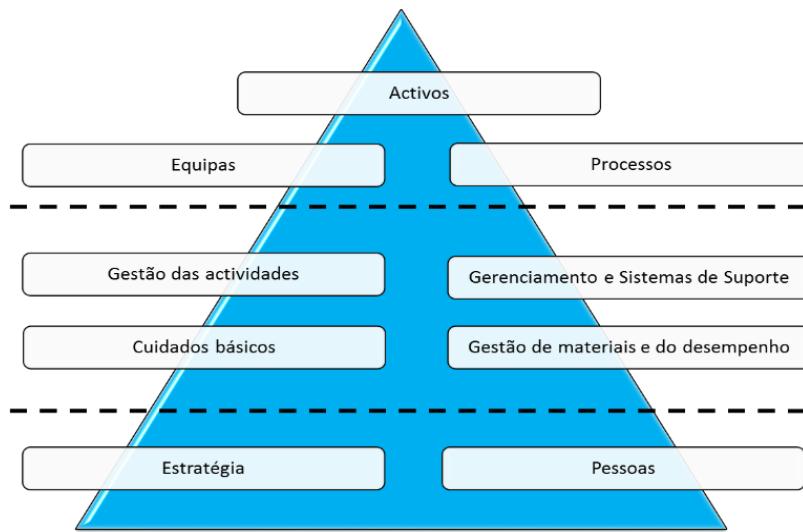


Figura 46 - A Pirâmide da excelência
(Fonte: Campbell & Heyes-Picknell, 2006).

De acordo com De Marco (2013), o Institute of Asset management (IAM) desenvolveu a *PAS 55 Assessment Methodology* (PAM), que serve para a avaliação do nível de maturidade da Gestão de Ativos de uma empresa seguindo o referido referencial, detalhado na tabela 14. Em associação com a British Standards Institution (BSI), emitiu um documento no ano de 2004, que foi revisto e publicado em 2008, e denominado de BSI PAS 55:2008, no qual pretende instituir um padrão para a gestão de ativos. Nele são apresentados os requisitos necessários para a implementação e auditoria de um sistema de gestão válido para todo o ciclo de vida do equipamento.

Tabela 14 - Grelha de maturidade para gestão de ativos.

Aprendizagem Nível de Maturidade 0	Aplicando Nível de Maturidade 1	Incorporação Nível de Maturidade 2	Optimização e Integração Nível de Maturidade 3	Além PAS 55 Nível de Maturidade 4
Os elementos para obter a certificação PAS 55 não existem na empresa. A empresa está no processo de desenvolver um entendimento da Especificação.	A Empresa tem um entendimento básico dos requisitos da PAS 55. Está no processo de decidir como será feita a aplicação dos elementos da PAS 55 e já começou a aplicá-los.	A Empresa tem um bom entendimento dos requisitos da PAS 55. Já foi decidido como os elementos da PAS 55 serão aplicados e já existem trabalhos de implementação.	Todos os elementos da PAS 55 foram implementados e estão sendo aplicados de forma integrada. Apenas pequenas inconsistências podem existir.	A empresa utiliza processos e abordagens que vão além dos requisitos da PAS 55. Indo além das ideias já existentes e desenvolvendo novos conceitos de gestão de ativos.

(Fonte: BSI PAS 55 - IAM, 2008).

Segundo o IAM (2014), este documento é o padrão de referência internacional para a gestão otimizada dos recursos físicos, fornecendo a definição de boas práticas em toda a gestão da vida útil dos ativos. É aplicável a qualquer organização em que os ativos físicos são de importância fundamental ou em que consistem num fator crítico para alcançar a meta de negócios, sendo o modelo de gestão, bem como as técnicas e ferramentas necessárias para cada nível de maturidade, evidenciados na tabela 15.

Tabela 15 - Técnicas e ferramentas para o processo de gestão de ativos.

Inocente Nível de Maturidade 0	Consciente Nível de Maturidade 1	Desenvolvimento Nível de Maturidade 2	Competente e Optimização Nível de Maturidade 3	Excelente Nível de Maturidade 4
	Gestão da Manutenção: Planeamento e Controlo, Gestão de Contratos, Sistema informatizado, Treinamento e capacitação, Cumprimento de Normas e Requisitos Legais.	Engenharia de Manutenção: Indicadores de Manutenção, Manutenção Centrada na fiabilidade, Análise de Modos de Falha e Causa Raiz, Manutenção Baseada na Condição.	Engenharia de fiabilidade: Análise RAM (Reliability, Availability, Maintainability), Análise e Gestão de Risco, Análise de Vida dos Equipamentos e Gestão do Ciclo de Vida.	Avaliação da Degradação das Estruturas: Monitorização das condições das estruturas.

(Fonte: BSI PAS 55 - IAM, 2008).

As especificações dos requisitos da PAS 55 foram deram origem às seguintes Normas ISO, disponibilizadas no ano de 2014:

- ISO 55000: Gestão de Ativos - visão geral, princípios e terminologia;
- ISO 55001: Gestão de Ativos - requisitos para certificação do sistema de gestão;
- ISO 55002: Gestão de Ativos - diretrizes para aplicação da norma ISO 55001.

O modelo de maturidade, conforme a Norma ISO 55000/1/2:2014, para a gestão de ativos é mostrado na tabela 16.

Chemweno *et al.* (2014), propõem um modelo de maturidade genérico de manutenção dos ativos como um guia estruturado para a implementação de novos programas de manutenção, avaliação destes programas e impulsionar atividades de melhoria contínua susceptíveis de provocar alto nível de ativos eficiência da manutenção e efetividade.

Tabela 16 - Grelha de maturidade para gestão de ativos: ISO.

Escala	Descrição	Definição	Característica da Maturidade
0	Inocente	A organização não reconhece a necessidade dessa exigência e/ou não há nenhuma evidência de compromisso para utilizá-la.	-
1	Consciente	A organização tem identificado a necessidade deste requisito, e há evidência de intenção em progredir.	Propostas estão em desenvolvimento e alguns requisitos podem estar em uso. Os processos são mal controlados, reativos e o desempenho é imprevisível.
2	Desenvolvimento	A organização tem identificado os meios de forma sistemática e consistente para alcançar os requisitos, e pode demonstrar que estes estão progredindo de forma confiável.	Notas: este é um "estado de transição". Processos são planeados, documentados (quando necessário), aplicado e controlado a nível local ou dentro de departamentos funcionais; geralmente de um modo reativo, mas poderia alcançar os resultados esperados com alguma repetição. Os processos estão insuficientemente integrados, com consistência limitada ou coordenação através da organização.
3	Competente	A organização pode demonstrar que alcança sistematicamente e consistentemente os requisitos pertinentes estabelecidos na norma ISO 55001.	Isto envolve uma forma documentada do sistema de gestão de ativos contidos dentro da organização. O desempenho dos elementos do sistema de gestão de ativos é medido, revisado e melhorado continuamente para atingir os objetivos de gestão de ativos.
4	Otimização	A organização pode demonstrar que optimiza sistematicamente e consistentemente a prática de gestão de ativos, de acordo com os objetivos da organização e do contexto operacional.	Notas: Este é o segundo 'estado de transição' e nesta fase irá incluir: Monitorização e quantificação do desempenho; resolução de compensações entre os objetivos concorrentes numa ágil estrutura de tomada de decisões, a inovação é um padrão natural, melhoria contínua pode ser amplamente demonstrada com evidência de resultados, o benchmarking é utilizado para melhor identificar a oportunidade de melhoria, e o sistema de gestão é ainda mais integrado e eficaz.
5	Excelente	A organização pode demonstrar que utiliza as melhores práticas de gestão, e atinge valor máximo a partir da gestão de seus ativos, de acordo com os objetivos da organização e do contexto operacional.	Este é um estado dinâmico e sensível ao contexto, portanto, as evidências devem incluir a demonstração de consciência das posições de benchmarking em relação às organizações de classes semelhantes melhores em que, com respeito às práticas de gestão de ativos (valor de realização) não existem melhorias conhecidas que ainda não foram implementadas.

(Fonte: IAM, 2014).

5.5 Análise crítica dos modelos de maturidade no âmbito da manutenção

Os modelos propostos por Fernandez *et al.* (2003) - baseado no modelo de Antil (1991) - Wireman (1992), Cholasuke *et al.* (2004) e Campbell e Reyes-Picknell (2006) possuem oportunidades de melhoria no âmbito da gestão da manutenção. Numa análise crítica, o modelo proposto por Antil foi desenvolvido com a finalidade de dar suporte à implementação de um sistema informático (CMMS), possuindo quatro classes de avaliação e cinco níveis de classificação, e aborda apenas alguns aspectos relacionados com a gestão da manutenção, limitando-se às estratégias de *resolução de problemas* à utilização de uma *ferramenta informática* de apoio à gestão das atividades de manutenção, além de questões relativas à *postura da manutenção mediante a organização*. Como esperado, o modelo mostra que a complexidade do CMMS irá aumentar à medida que a função manutenção se move de uma cultura reativa em direção a uma cultura proactiva.

O modelo proposto por Wireman (1992) segue as premissas contidas no modelo formulado por Crosby para a qualidade, substituindo os termos relativos à qualidade por aqueles associados à manutenção, possuindo sete classes de avaliação e cinco níveis de classificação. As classes propostas são:

- Atitude de Gestão da unidade fabril;
- Estado da organização da Manutenção;
- Percentagem dos recursos de manutenção desperdiçados. Nesta classe o autor define metas de recursos desperdiçados para cada estágio. No entanto, considerando distintas empresas e segmentos, os valores de referência dos indicadores de desempenho podem variar conforme o segmento da empresa e os indicadores também não indicam que ações ou práticas a empresa deve seguir para atingir estágios mais elevados;
- Resolução de problemas de manutenção;
- Qualificação dos trabalhadores da manutenção e formação;
- Informação da manutenção e ações de melhoria.
- Resumo da posição da manutenção na organização.

O modelo proposto por Cholasuke *et al.* (2004) possui dez classes e apenas três níveis de classificação, o que restringe uma classificação face a situações que não estão bem contextualizadas. As classes propostas são:

- Efetividade da manutenção. Os autores impõem metas para o OEE;

- Desdobramento da política e Organização. Os autores, em vez de estabelecerem uma política para cada estágio, consideram que a classificação num determinado estágio depende da existência ou não de uma política. Além disso, o modelo orienta para a existência de uma estrutura própria da manutenção dentro da organização, de modo a que a manutenção não faça parte de um outro departamento e possua autonomia, gerando impacto na estrutura da organização;
- Abordagem da manutenção;
- Planeamento e Programação de tarefas;
- Gestão da informação e CMMS;
- Subcontratação de atividades da manutenção. Nesta classe, a subcontratação de atividades é percebida como um fator de excelência, o que influencia os resultados financeiros do departamento e da organização;
- Melhoria contínua. Esta classe pressupõe a adoção de metodologias de apoio à gestão da manutenção, tais como RCM e TPM, para que a área de manutenção da organização seja enquadrada num nível de excelência;
- Aspetos financeiros;
- Gestão de recursos humanos;
- Gestão de estoque. Esta classe considera o uso de uma metodologia de análise específica para classificação num determinado nível, não levando em consideração as demais existentes, bem como as suas respetivas potencialidades.

O modelo proposto por Campbell e Reyes-Picknell (2006) possui dez classes de avaliação e cinco níveis de classificação. As classes propostas são:

- Estratégia. O modelo não define uma estratégia a ser seguida pela área de manutenção para cada nível;
- Pessoas;
- Gestão das atividades;
- Gestão de materiais. A avaliação dos níveis de estoque é efetuada sob a perspetiva da área de produção e não através de uma análise em função das necessidades do departamento de manutenção. Uma rotação de estoque elevado é um indicador que se traduz na velocidade na qual os

estoque são renovados, o que é um bom parâmetro segundo a perspetiva da produção, mas não é solução ótima para a área de manutenção, pois uma elevada rotação de estoque implica mais avarias e custos de manutenção mais elevados;

- Cuidados básicos;
- Gestão de desempenho;
- Sistemas de apoio;
- Fiabilidade dos ativos;
- Trabalho em equipa;
- Processos.

O modelo de maturidade baseado no padrão PAS 55 possui sete classes de avaliação e cinco níveis de classificação, e faz uso de um questionário para a adequada classificação do nível de maturidade das organizações com base na resposta a 121 questões, e seu acesso é limitado aos membros do Instituto de Gestão de Ativos (*Institute of Asset Management - IAM*). O modelo proposto pela norma ISO 55001:2014 trata-se da adaptação do modelo desenvolvido pelo IAM (padrão PAS 55) que se foca no grau de implementação da referida norma.

Numa avaliação geral, os modelos expostos possuem oportunidades de melhorias, uma vez que não apresentam as classes associadas à cadeia da gestão da manutenção de forma adequada, bem como orientações do ponto de vista prático para que as organizações alcancem os estágios superiores, lacuna esta que se pretende cobrir neste trabalho ao se propor um modelo mais apropriado para as atividades pertinentes à gestão da manutenção, tanto com respeito às classes a serem propostas e avaliadas, como na forma de alcançar os estágios superiores a partir da adequada deteção do estágio atual da área da manutenção.

6. ESTUDO EXPLORATÓRIO

Neste capítulo é apresentado o estudo exploratório realizado para identificar as práticas de gestão da manutenção adotadas por empresas industriais. O estudo envolveu um questionário, desenvolvido com base na análise bibliográfica e com base no conhecimento da área, procurando ser abrangente nos temas, incluíndo questões relacionadas com todos os processos de gestão da manutenção. O questionário foi enviado para empresas que constituem o polo industrial sediado em Manaus, estado do Amazonas (Brasil), de forma a ser preenchido pela área de manutenção da empresa. Os resultados foram analisados por meio de uma abordagem descritiva e indutiva.

Na abordagem descritiva foram avaliadas as informações relativas à postura da área de manutenção com respeito à gestão da manutenção, organização das atividades, medidas de desempenho, gestão de equipas, adoção de ferramentas e metodologias para análise de falhas, adoção de metodologias de apoio à gestão da manutenção, sistemas informáticos, subcontratação e principais dificuldades enfrentadas pelos gestores.

Na abordagem indutiva, foram conduzidos testes de hipóteses para avaliar a relação de dependência entre a origem das empresas e a gestão da manutenção, os eventuais efeitos da adoção da metodologia TPM nos resultados da área de manutenção, bem como os efeitos da utilização de sistemas informáticos (CMMS).

6.1 O Questionário

O questionário pretendeu identificar as práticas de organização e gestão da manutenção adotada por empresas do polo industrial de Manaus na gestão dos seus equipamentos produtivos. O questionário, apresentado no apêndice I, encontra-se estruturado em cinco secções que são descritas a seguir.

- **Seção I - Informação geral:** contempla informações gerais a respeito da empresa, tais como a função ocupada pelo responsável pelo preenchimento do questionário, ramo de atividade da empresa, o número de funcionários, a origem da empresa e a quantidade de equipamentos sob a responsabilidade da área da manutenção.
- **Secção II - Gestão da manutenção:** pretendeu identificar o número de membros das equipas de manutenção, a frequência de utilização de ferramentas de gestão da manutenção, as práticas adotadas no âmbito da

subcontratação de atividades de manutenção, bem como as principais dificuldades encontradas pelos gestores da área de manutenção.

- **Secção III - Indicadores para a manutenção:** pretendeu identificar a frequência de utilização de indicadores de desempenho no âmbito da gestão da manutenção, sua divulgação aos membros da equipa de manutenção, bem como registar o grau de concordância com questões relativas ao desempenho da manutenção.
- **Secção IV - Procedimentos e planos de manutenção:** pretendeu recolher informação acerca da frequência das atividades de manutenção preventiva, do método adotado para definição e revisão de intervalos de intervenções preventivas, da existência de procedimentos ou intruções para a realização das intervenções e de critérios para priorização das atividades. Pretendeu ainda identificar e caracterizar o sistema de informação de apoio à gestão das atividades de manutenção.
- **Secção V - Equipa de manutenção:** pretendeu identificar a organização hierárquica da área de manutenção, o nível de formação da equipa de manutenção, a frequência de formação das equipas de manutenção e a existência de um plano de formação.

Uma escala de Likert de cinco níveis foi adotada para registar respostas relativas a questões em que se pretendeu obter a percepção ou opinião dos inquiridos. Segundo Freixo (2011), esta escala permite a um sujeito exprimir em que medida está de acordo ou em desacordo com cada um dos enunciados propostos, onde o resultado obtido facilita uma indicação da atitude ou da opinião do sujeito. Os exemplos seguintes ilustram as respostas mais usuais neste tipo de escala considerando questões relacionadas com: quantidade, frequência, avaliação, probabilidade e atitudes.

- Respostas sobre **quantidade**: 1.Muito pouco; 2. Pouco, 3. Médio, 4.Muito, e 5.Bastante.
- Respostas sobre **frequência**: 1.Nunca; 2.Raramente, 3.Ocasionalmente, 4.Frequentemente, e 5.Muito frequentemente.
- Respostas sobre **avaliação**: 1.Muito mau; 2.Mau, 3.Razoável, 4.Bom, e 5.Muito bom.
- Respostas sobre **probabilidade**: 1.Impossível; 2.Pouco provável, 3.Provável, 4.Muito provável, e 5.Certo.

- Respostas sobre **atitudes**: 1.*Discordo totalmente*, 2.*Discordo*, 3.*Indiferente*, 4.*Concordo*, e 5.*Concordo totalmente*.

O questionário recorreu ao uso da escala de likert para registo da frequência e da atitude, com os níveis habitualmente utilizados para este tipo de questões (indicados acima).

6.2 Caracterização da amostra

O polo industrial está organizado em dezenove setores, como mostrado na figura 47, incluindo empresas de distintos segmentos, e é um dos mais modernos da América Latina, reunindo indústrias de ponta das áreas de eletroeletrônica, veículos de duas rodas, produtos óticos, produtos de informática e indústria química.

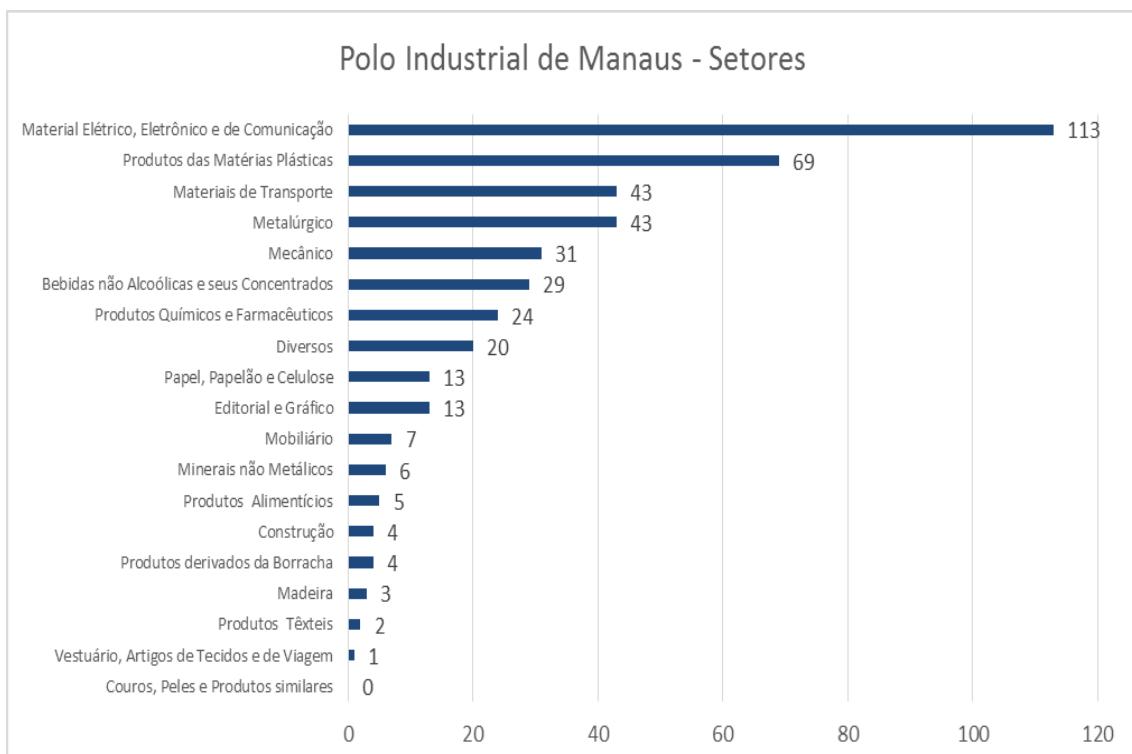


Figura 47 - Polo Industrial de Manaus: Divisão por setores.

De acordo com o documento oficial da Superintendência da Zona Franca de Manaus, Suframa, que é o órgão regulamentador e que gere a organização das empresas instaladas na região, criada pelo **Decreto-Lei Nº 288, de 28 de fevereiro de 1967**, há 430 empresas cadastradas em distintos segmentos de atuação no Polo Industrial de Manaus (referência do ano de 2013). A Zona Franca de Manaus (ZFM) é um modelo de desenvolvimento regional que foi implementado pelo governo brasileiro,

em 1967, com a finalidade de criar uma base económica na Amazônia Ocidental e promover a integração socioeconómica da região ao restante país, como forma de diminuir as disparidades regionais e de garantir a soberania nacional sobre as suas fronteiras territoriais. O polo industrial de Manaus (PIM) reúne indústrias nacionais e multinacionais com alto grau de competitividade, capazes de atender ao mercado nacional e ajudar o Brasil a ampliar a sua inserção no mercado internacional (Suframa, 2013).

O questionário foi enviado para todas as empresas registadas no polo industrial e 72 delas, de distintos setores, participaram na pesquisa, resultando numa taxa de resposta de 16.75%. A estratificação dos segmentos que participaram na pesquisa está exposta na figura 48.

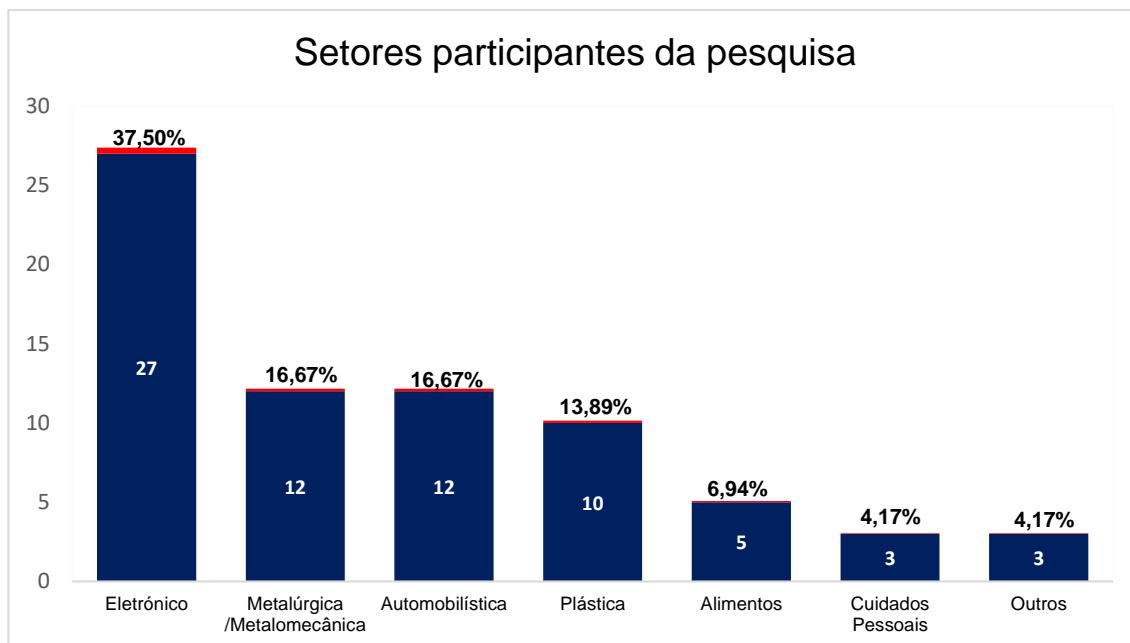


Figura 48 - Setores que fizeram parte da pesquisa

Relativamente à origem das empresas participantes 43.06% possuem capital nacional, isto é, são empresas locais, enquanto que 56.94% possuem capital internacional, ou seja, são empresas multinacionais. As figuras 49, 50 e 51 são relativas, respetivamente, ao número de respondentes dos inquéritos e respetivas funções na organização, ao número de colaboradores que estas empresas possuem, bem como à quantidade de equipamentos que estão sob a responsabilidade da área de manutenção.

Respondentes do inquérito e função

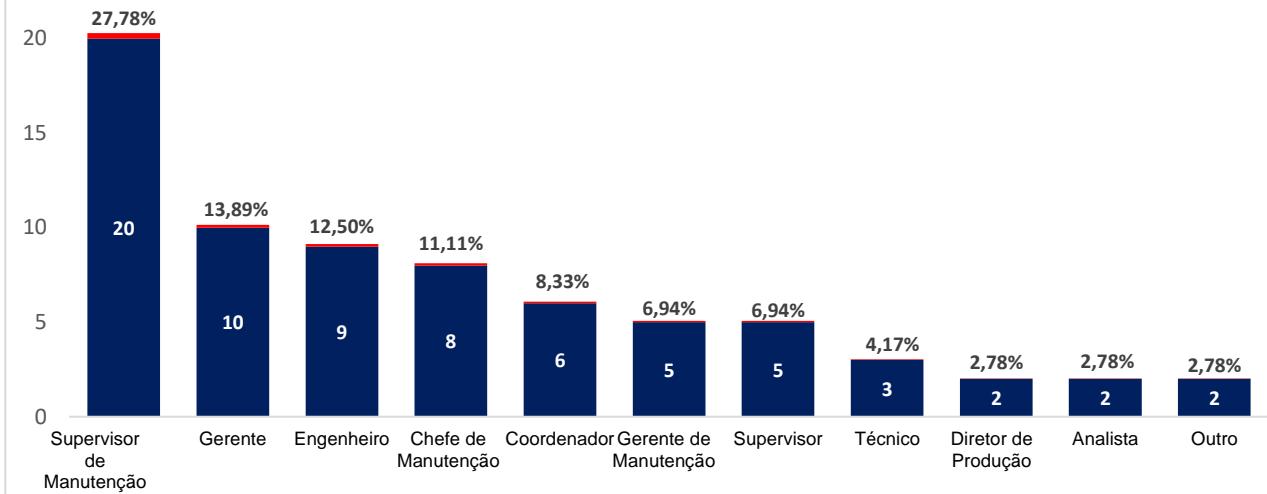


Figura 49 - Respondentes do inquérito e função.

Relativamente ao número de colaboradores, 75% das empresas inquiridas possuem mais de 100 colaboradores.

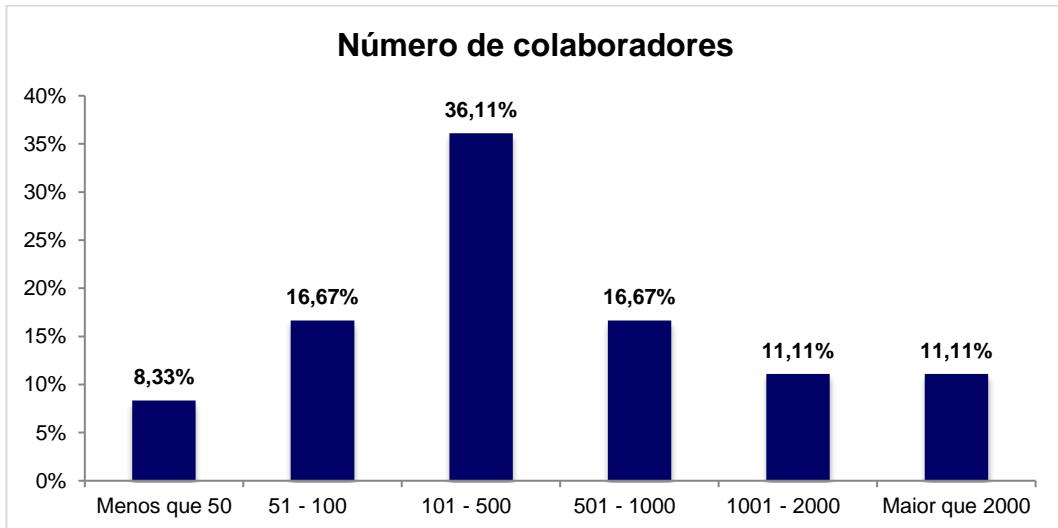


Figura 50 - Número de colaboradores .

Relativamente ao número de equipamentos sob a responsabilidade da área de manutenção das empresas, observa-se que aproximadamente 70% possuem mais do que 50 ativos.

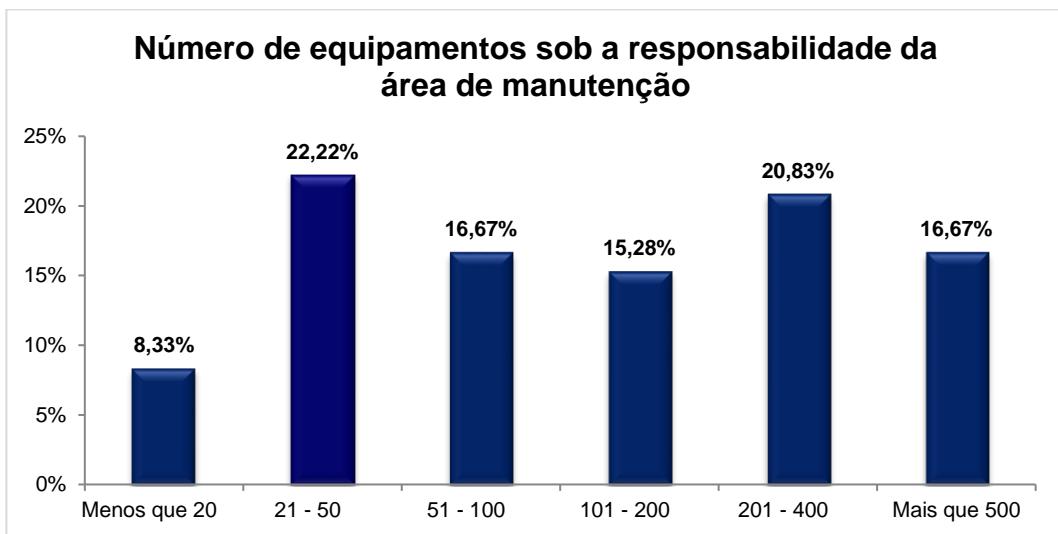


Figura 51 - Número de equipamentos sob a responsabilidade da área de manutenção.

6.3 Análise de resultados

6.3.1 Gestão da Manutenção

Relativamente ao posicionamento da manutenção dentro da empresa, grande parte afirma ser esta uma área estratégica. Com efeito, 90% das empresas inquiridas afirmaram que a manutenção de equipamentos de produção é vista como um fator estratégico na organização, conforme evidenciado na figura 52. A tabela 17 corresponde à média das respostas das empresas relativamente a afirmação de que a manutenção é reconhecida como estratégica para a organização.

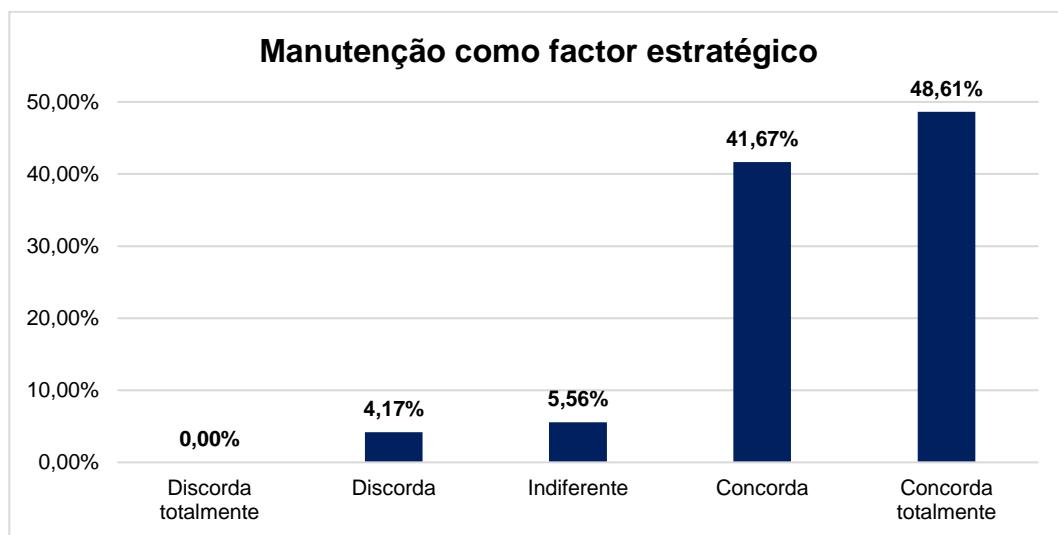


Figura 52 - Manutenção como fator estratégico para as empresas.

Tabela 17 - Manutenção como factor estratégico vs origem.

Origem	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
Nacional	2	5	4,16	0,969
Internacional	3	5	4,49	0,553
Total	2	5	4,35	0,772

Relativamente às práticas de subcontratação de serviços de manutenção, a maior parte das empresas subcontratam algum tipo de atividade, conforme mostrado na figura 53.

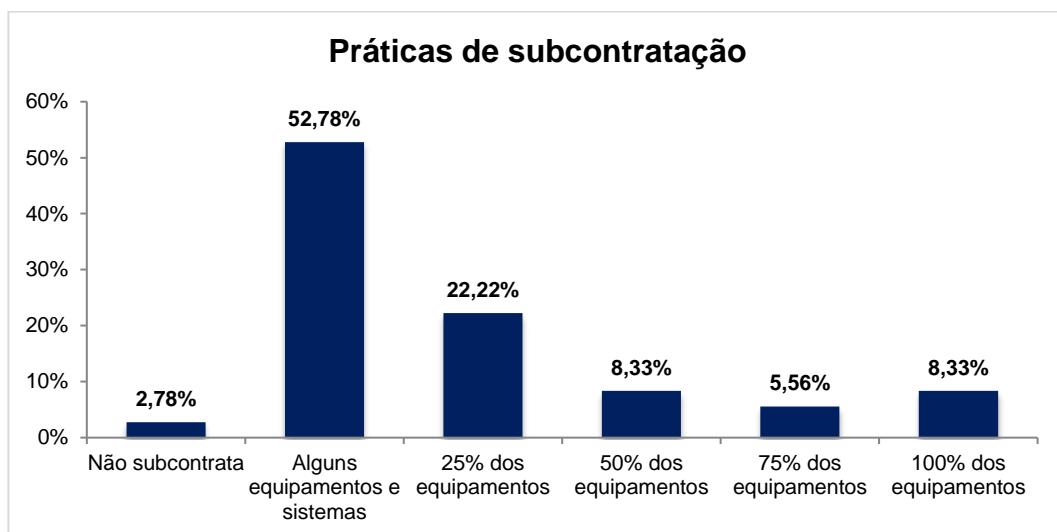


Figura 53 - Práticas de subcontratação das empresas.

Considerando as empresas que afirmam possuir algum tipo de atividade subcontratada, 51.38% o fazem para as atividades puramente corretivas, ao passo que 47.71% o fazem para as atividades preventivas, e uma pequena percentagem subcontrata serviços para atividades de projetos (aprimoramento e desenvolvimento de equipamentos), conforme mostra a figura 54.



Figura 54 - Tipos de serviços subcontratados pelas empresas.

Além disso, considerando as empresas que terceirizam atividades de manutenção, 73.61% delas afirmam que 40% ou menos dos serviços são efetuados pelos próprios fabricantes dos equipamentos produtivos, conforme mostra a figura 55.

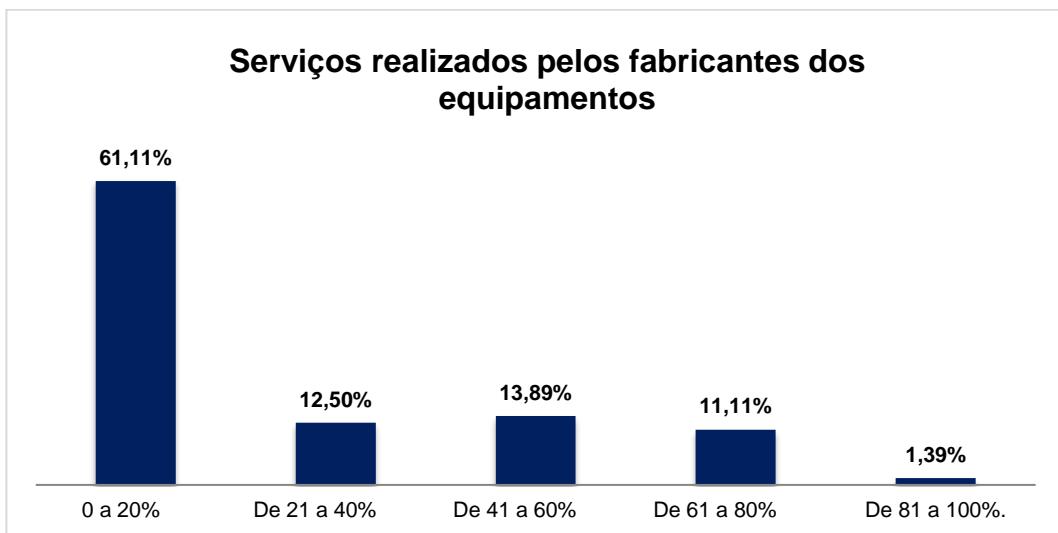


Figura 55 - Serviços realizados pelos fabricantes dos equipamentos.

A equipa de manutenção é um importante fator para o bom desempenho da manutenção, sendo necessário gerir as atividades e os recursos disponíveis que permitam à área de manutenção cumprir as suas funções. A figura 56 apresenta os resultados relativos ao número de membros que compõe a equipa de manutenção das empresas. Pode-se perceber que 56.34% das empresas possuem entre 20 e 5 funcionários atuando na área de manutenção, o que poderá estar relacionado com o tamanho da empresa e o número de equipamentos sob a responsabilidade da área de manutenção.

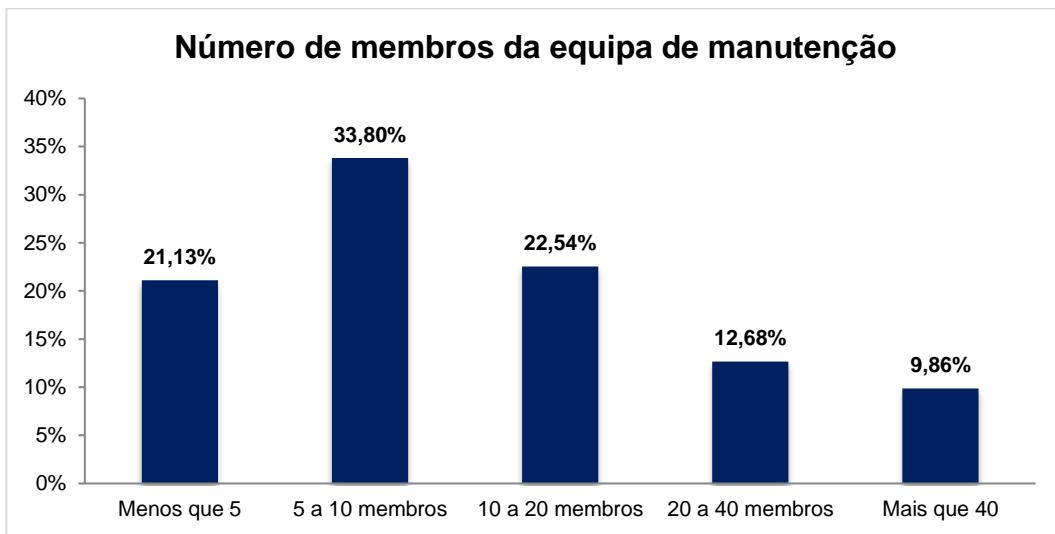


Figura 56 - Número de membros da equipa de manutenção da empresa.

Relativamente ao tipo de intervenções de manutenção adotadas pelas empresas, de acordo com os dados obtidos na pesquisa, 84.72% adotam atividades preventivas, ao passo que 36.11% assumem que adotam atividades preditivas e 12.05% adotam atividades detetivas. Foi ainda identificado que aproximadamente 15.28% adotam apenas atividades corretivas.

Conforme mostrado na figura 57, a maior parte do tempo do pessoal de manutenção é dedicado a atividades corretivas. Aproximadamente 68.06% das empresas dedicam 40% ou menos de seu tempo em atividades preventivas.

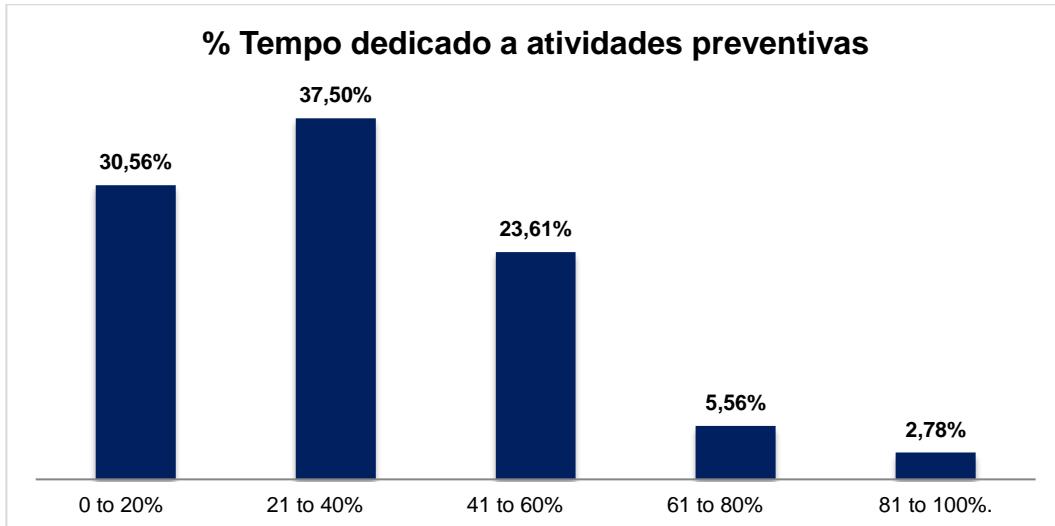


Figura 57 - Tempo dedicado a atividades preventivas.

Foi pedido às empresas que indicassem se utilizam certas metodologias de apoio à gestão da manutenção e 59.72% das empresas indicaram que adotam a TPM

(*Total Productive Maintenance*). A Engenharia de Manutenção surge em segundo lugar com resposta positiva por parte de 27.78% dos respondentes, conforme indicado na figura 58.

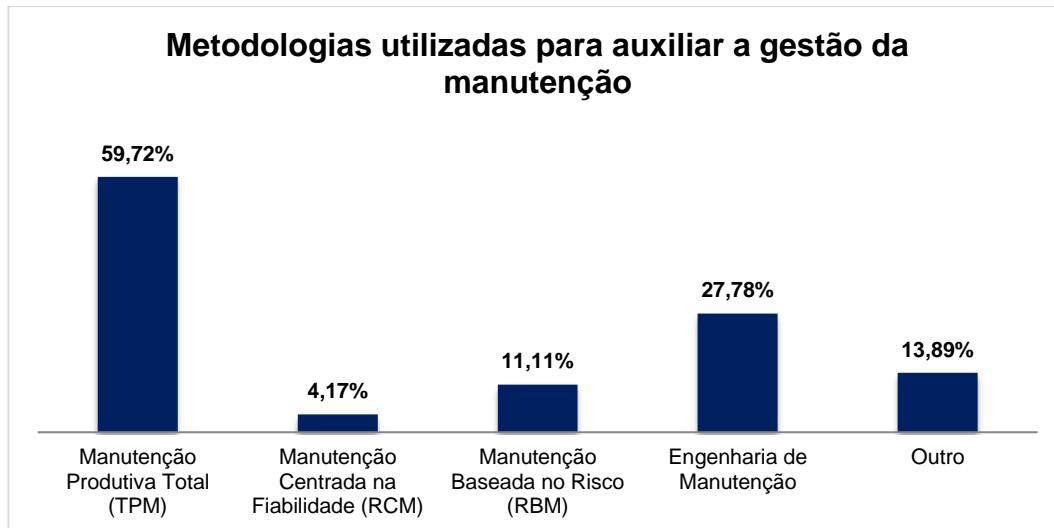


Figura 58 - Metodologias para auxiliar a gestão da manutenção.

Foi ainda solicitado às empresas a indicação da frequência de utilização de técnicas e ferramentas de análise e prevenção de falhas. A tabela 18 apresenta a média obtida para cada técnica. Com efeito, a média global não é muito elevada, uma vez que é inferior a 4 para todas as técnicas. Três destas técnicas destacam-se, nomeadamente o diagrama de *Causa e Efeito*, 5S e 5 Porquês. Tendo em conta a média obtida, verifica-se uma utilização baixa das restantes ferramentas, facto este que pode estar associado à falta de formação ou conhecimento adequado de tais técnicas.

Tabela 18 - Frequência de utilização de técnicas para análise de falhas.

Técnica e Ferramenta de análise e prevenção de falhas	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
5S	1	5	3,65	1,39
5 Porquês	1	5	3,35	1,38
Diagrama de Causa e Efeito	1	5	3,17	1,41
PDCA	1	5	2,93	1,34
RCA	1	5	2,08	1,36
FMEA	1	5	2,04	1,19
Análise de Fiabilidade	1	5	1,92	1,11
8D	1	5	1,81	1,23
Análise de Risco	1	5	1,81	1,18
FTA	1	5	1,61	1,03
RBD	1	4	1,47	0,82
Árvore de Acontecimentos	1	4	1,46	0,82

As empresas inquiridas pronunciaram-se em relação a uma lista de potenciais dificuldades enfrentadas na área de manutenção. Esta lista encontra-se na tabela 19. O orçamento limitado, o número de peças de substituição insuficientes em armazém, o número insuficiente de técnicos e o não cumprimento do prazo de entrega pelo fornecedor de peças foram os problemas destacados. A tabela 19 apresenta também a percentagem de respostas positivas relativamente à totalidade de empresas inquiridas.

Relativamente à opção *Outro* da pesquisa, convém ressaltar os problemas que foram assinalados por algumas das empresas: a falta de conhecimentos técnicos e de metodologias de uso comum na área de manutenção; equipamento obsoleto e no fim da vida útil; aquisição de material muito lenta por parte do comprador interno; área de manutenção não estruturada; falta de recursos; elevado número de solicitações para manutenção corretiva; pressão pelo cumprimento do plano de produção, restringindo a liberação de equipamentos para realização da manutenção; planeamento de manutenção preventiva insuficiente em frequência; atrasos no cumprimento do plano de manutenção preventiva.

Tabela 19 - Lista de potenciais dificuldades enfrentadas pela área de manutenção.

Lista de Potenciais Dificuldades	Percentagem
Orçamento limitado	66,67%
Peças de substituição insuficientes em armazém	48,61%
Número de técnicos insuficiente	44,44%
Não cumprimento da data de entrega por parte de fornecedores de peças	43,06%
Falta de formação da equipa técnica	34,72%
Atraso nos serviços subcontratados	30,56%
Sistema de gestão de informação inadequado	30,56%
Não cumprimento da data de entrega por parte de fornecedores de materiais	29,17%
Falta de tempo	27,78%
Equipamentos/ferramentas de manutenção insuficientes ou inadequados	26,39%
Baixa competência da equipa técnica	23,61%
Falta de apoio administrativo	23,61%
Baixa motivação da equipa técnica	13,89%
Baixa escolaridade da equipa técnica	11,11%
Outro	12,50%

6.3.2 *Medidas de desempenho da manutenção*

Em relação à avaliação de desempenho, observou-se que 77,78% das empresas afirmam utilizar algum tipo de indicador de desempenho para avaliar os resultados da área de manutenção. Solicitou-se aos participantes do inquérito que identificassem a

frequência de utilização de determinados indicadores de desempenho, sendo que os indicadores apresentados são os mais frequentemente referidos na literatura.

A tabela 20 apresenta a média obtida relativamente à frequência de utilização dos indicadores de desempenho. Com efeito, a média não é muito elevada, uma vez que é inferior a 4 para todos os indicadores apresentados. Três destes indicadores destacam-se, nomeadamente o *Tempo de paragem* (downtime), a *Disponibilidade* e os *Indicadores Económicos*, enquanto que os demais são utilizados com pouca frequência, notadamente o MTTR e o MTBF, que estão diretamente relacionados com o desempenho da equipa e com a eficácia das atividades de manutenção, respetivamente. Similarmente à adoção de técnicas para análise de falhas, este facto também pode estar associado à falta de formação ou conhecimento de tais indicadores ou ainda à inexistência de suporte para os calcular.

Além disso, tendo em conta as respostas obtidas, 75% das empresas divulgam os respetivos indicadores de desempenho e seus resultados finais às equipas de manutenção.

Tabela 20 - Frequência de utilização de Indicadores de desempenho.

Indicador	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
Tempo de Inatividade	1	5	3,37	1,60
Disponibilidade	1	5	3,13	1,66
Económicos	1	5	3,12	1,57
MTTR por equipamento	1	5	2,88	1,62
OEE	1	5	2,63	1,69
MTBF por equipamento	1	5	2,58	1,56
MTTR por linha/área	1	5	2,56	1,60
Backlog	1	5	2,42	1,59
MTBF por linha/área	1	5	2,08	1,45
MWT	1	5	1,94	1,33
Outros	1	5	1,15	0,69

Com o objetivo de avaliar a eficácia dos resultados da manutenção, uma escala de Likert para identificar ao grau de concordância sobre afirmações acerca do tempo de paragem, do tempo de reparação, do tempo de espera e relativa à subcontratação foi adotada.

A média foi calculada e é apresentada na Tabela 21. As médias obtidas são baixas, o que significa que o grau de concordância é baixo, exceto para a segunda afirmação.

As empresas, em geral, não reconhecem que o tempo de inatividade, o tempo para reparação e o tempo de espera para reparação são altos. No entanto, como o inquérito limitou-se à frequência de utilização destes indicadores, não foi possível a recolha de dados reais e fiáveis com respeito aos resultados da área de manutenção, e a análise crítica por parte dos respondentes do inquérito não parece refletir a realidade. Esta situação pode ser devido ao facto dos entrevistados serem eles próprios responsáveis pela área de manutenção, havendo uma tendência para não expor o próprio departamento. Verificou-se também que os entrevistados concordam, em geral, com o facto do tempo de paragem ter vindo a diminuir como resultado de esforços desenvolvidos pela área de manutenção.

Tabela 21 - Desempenho da manutenção.

Atividade	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
O tempo de paragem dos equipamentos tem diminuído como resultado do esforço nesta área	1	5	3,69	1,22
A subcontratação ocorre como resultado de falta de capacitação interna	1	5	3,17	1,33
O tempo de paragem devido às avarias dos equipamentos é considerado elevado	1	5	2,99	1,14
O tempo de resolução de avarias (tempo de reparação) é considerado elevado	1	5	2,99	0,985
O tempo de espera pelo início de uma reparação é considerado elevado	1	5	2,71	1,14

6.3.3 Procedimentos e planeamento da manutenção

Numa estratégia de melhoria contínua no planeamento das atividades de manutenção, a revisão dos planos, periodicidades, procedimentos e listas de atividades a executar pelas equipas fazem parte da rotina de um organizado setor de manutenção.

Todas as empresas inquiridas possuem algum plano de manutenção nos quais intervalos de tempo para executar as ações de manutenção estão estabelecidos. Os intervalos de tempo mais comuns são mensal (50,00%) e anual (45,83%), como identificado na tabela 22, embora ressalte-se que as empresas adotam mais de um intervalo, de acordo com seu planeamento.

Destaca-se o baixo uso de planeamento diário (5,56%), considerando que muitas empresas na pesquisa relataram que adotam TPM e, por esta razão, teriam que assumir que as atividades diárias de planeamento deveriam ser realizadas com uma maior frequência.

Tabela 22 - Periodicidade de planeamento das atividades de manutenção.

Periodicidade de planeamento	Percentagem
Anual	50,00%
Mensal	45,83%
Semanal	26,39%
Diário	12,50%
Outro (Semestral)	5,56%

Em relação à frequência de realização de algumas atividades e adoção de certas práticas, a média foi calculada e apresentada na Tabela 23. As médias obtidas não são muito elevadas, uma vez que os valores estão todos abaixo de 4. Com efeito, a realização de algumas atividades diárias, tais como a limpeza, inspeção e pequenas reparações realizadas pelo operador não são muito frequentes. Por outro lado, os dados mostram que a frequência de análise de dados de falhas é maior, o que se contrapõe com os resultados obtidos com respeito à utilização de técnicas e ferramentas para análise de falhas.

Tabela 23 - Desempenho global da manutenção.

Atividade	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
A área da manutenção analisa os dados de falha e implementa melhorias para evitar as falhas ou mitigar os seus efeitos	1	5	3,65	1,25
Os operadores realizam algumas ações de manutenção, tais como: limpeza, lubrificação, inspeção e reparações simples	1	5	3,24	1,34
Rotatividade de atividades	1	5	3,04	1,02

Ainda no âmbito das atividades de planeamento da manutenção, para 82.00% das empresas existe uma definição de prioridades na realização de tarefas de manutenção preventiva. Quando se aborda a questão da existência de procedimentos e listas de atividades a serem executadas pelas equipas de manutenção, os resultados mostram a maioria das empresas não tem definidos procedimentos para todas as ações preventivas a serem desenvolvidas pelas equipas, conforme é apresentado na figura 59.

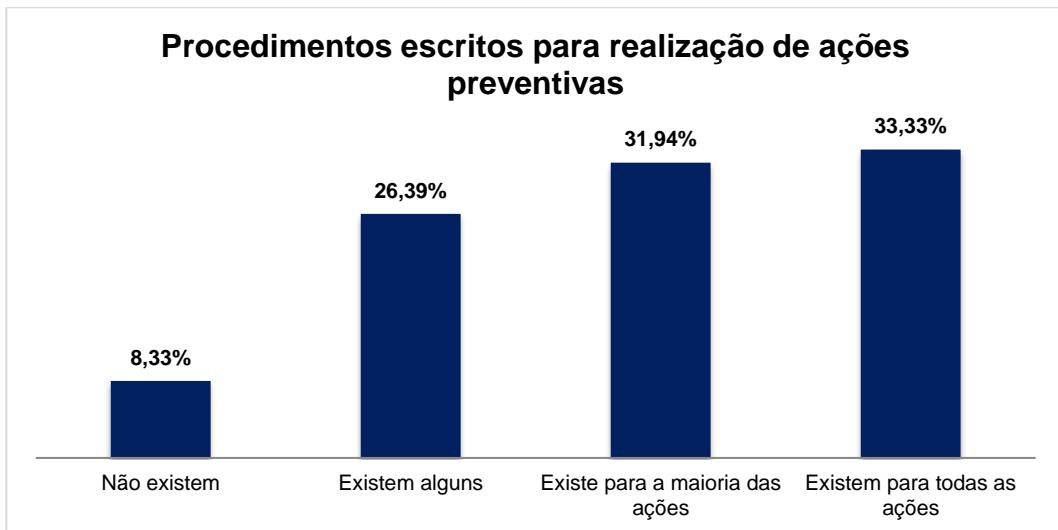


Figura 59 - Procedimentos escritos para realização de ações preventivas

A figura 60 mostra a periodicidade de revisão das atividades de manutenção preventiva das empresas inquiridas. Para 38.89% das empresas as intervenções preventivas são revistas periodicamente com base na taxa de falhas.

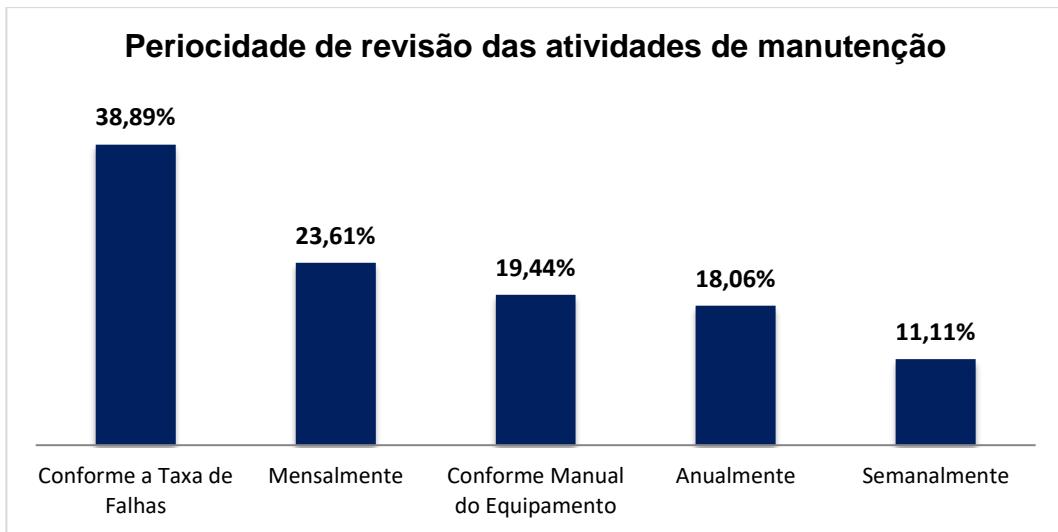


Figura 60 - Periodicidade de revisão das atividades de manutenção preventiva.

Um sistema informático de gestão da manutenção, denominado de CMMS, é um recurso necessário para ajudar a melhorar a eficiência e eficácia do departamento de manutenção, auxiliando na gestão das atividades preventivas, no controlo das ordens de serviço de manutenção e dos recursos humanos, na gestão de peças e material, no cálculo de indicadores de desempenho, entre outras funcionalidades.

A figura 61 apresenta os resultados relativos aos recursos de apoio utilizados pela área de manutenção para gerir as atividades diárias. Conforme os dados obtidos, 16.67% das empresas adotam um CMMS, 41.67% fazem uso de folhas de cálculo,

23.61% combinam CMMS e folhas de cálculo e, 18.06% fazem uso de registos manuais para organizar e controlar as atividades de manutenção.

Considerando as empresas que afirmaram possuir um CMMS, 48.28% adotaram um CMMS disponível no mercado, 17.24% das empresas desenvolveram o seu próprio software, ao passo que 34.48% optaram pela subcontratação de uma empresa especializada para desenvolver o software.

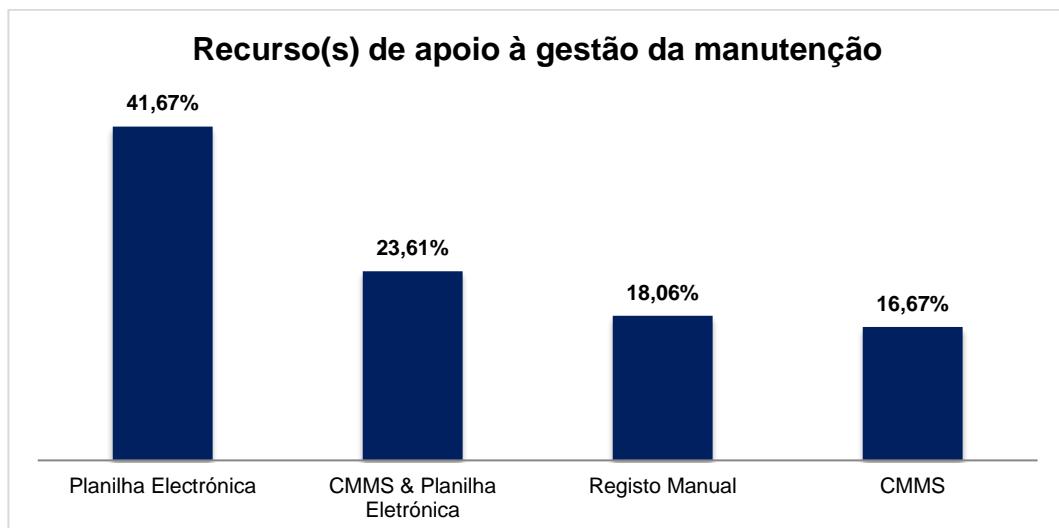


Figura 61 - Recurso(s) de apoio à gestão da manutenção.

Para avaliar a extensão do uso das funcionalidades que os CMMSs oferecem aos utilizadores, uma lista de funcionalidades foi apresentada para registo da respetiva frequência de utilização. Para além da frequência de utilização, o questionário possibilitou a indicação da existência no software da empresa inquirida da funcionalidade indicada. A tabela 24 apresenta a lista de funcionalidades e respetiva média e desvio padrão das respostas relativas à frequência de utilização. As referidas médias apresentadas são relativas apenas às empresas que possuem tais funcionalidades no software de manutenção.

Para a maioria das funcionalidades a média é considerada alta (valor acima de 4), o que mostra uma elevada utilização destas funcionalidades pela equipa de manutenção. Os valores mais baixos foram registados para: *planeamento de compra de peças e materiais, registo de instruções de trabalho, análise de dados de monitorização da condição do equipamento, e método de auxílio à análise de falhas*.

Foi também identificado que os CMMS's das empresas inquiridas possuem apenas funções padrão, tais como *registo de equipamentos, controle e geração de*

ordens serviços, histórico das atividades de manutenção realizadas e planeamento das atividades de manutenção.

Tabela 24 - Frequência de utilização de funcionalidades de um CMMS.

Lista de Funcionalidade	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
Geração e controlo de ordens de serviço	3	5	4,64	0,56
Histórico acerca de trabalhos de manutenção preventiva realizados	3	5	4,64	0,68
Histórico de reparações	3	5	4,61	0,69
Registo de equipamentos e respetivas peças ou grupos	3	5	4,54	0,74
Determinação de indicadores	2	5	4,30	0,93
Planeamento anual das tarefas preventivas	2	5	4,28	0,89
Planeamento mensal das tarefas preventivas	2	5	4,27	1,08
Orçamentação da manutenção	1	5	4,09	1,38
Alocação de recursos humanos às tarefas de manutenção	2	5	4,04	1,04
Controlo de inventário de peças e materiais	1	5	4,00	1,38
Planeamento semanal das tarefas preventivas	1	5	3,92	1,19
Histórico acerca de trabalhos de melhoria dos equipamentos realizados	1	5	3,85	1,46
Planeamento de compra de peças e materiais	1	5	3,70	1,46
Registo de instruções de trabalho	1	5	3,68	1,43
Análise de dados de monitorização da condição do equipamento	1	5	3,44	1,59
Método de auxílio à análise de falhas	1	5	3,21	1,55

6.3.4 Equipa de manutenção

Em relação à estrutura organizacional da área de manutenção, nem todas as empresas possuem um departamento de manutenção autónomo, com equipa e hierarquia definida (gerente, supervisão, chefe, técnicos, etc.), e a equipa é geralmente subordinada a outras áreas, comumente engenharia ou produção. Em 47.22% dos casos constatou-se que o departamento de manutenção tem uma estrutura formal, incluindo cargos de gestão e outras funções técnicas.

Relativamente à escolaridade do pessoal de manutenção, 64.79% das empresas assumem que 20% ou menos do seu pessoal tem formação superior, podendo se considerar que o nível de escolaridade é globalmente baixo. Apenas 5.63% das empresas indicam que cerca de 81 a 100% dos seus funcionários possuem formação superior, como evidenciado na figura 62.

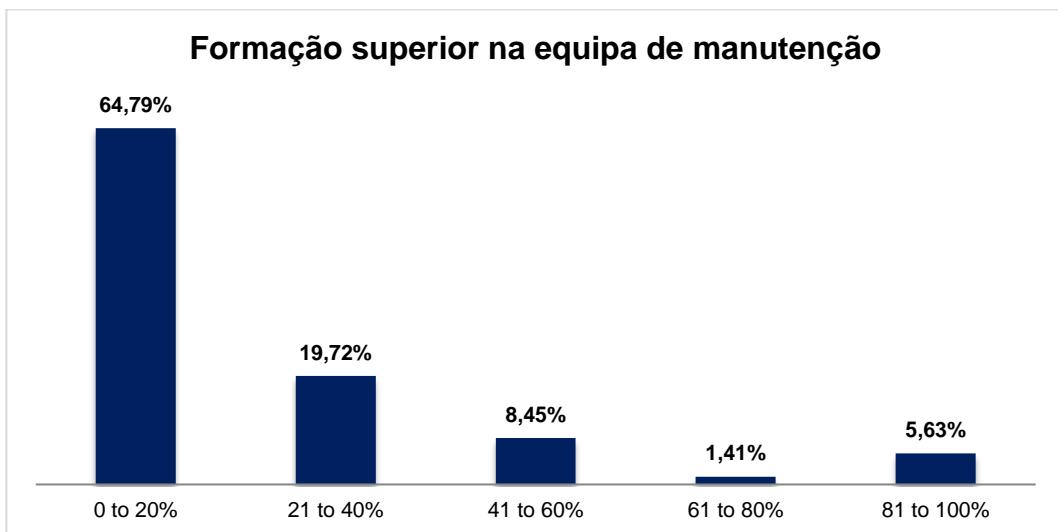


Figura 62 - Formação superior na equipa de manutenção

No âmbito da qualificação das equipas de manutenção, 58.33% das empresas reconheceram ter um plano de formação formal para a equipa de manutenção. No entanto, não é garantido que vai ser concretizado devido a muitas razões, tal como, por exemplo, restrições orçamentais.

A adoção de práticas que permitam o desenvolvimento de competências das equipas de manutenção assume a premissa de que os resultados desta área serão melhorados. Com o intuído de avaliar a eficácia das formações realizadas pelas empresas junto da equipa de manutenção, a pesquisa buscou avaliar alguns pontos relevantes que estão associados: a aplicação de técnicas de análise de falhas e o uso dos indicadores de desempenho. 60.00% dos inquiridos afirmam que a equipa sabe interpretar os indicadores de forma adequada, ao passo que 70.00% aplicam técnicas de análise de falhas com o intuito de aperfeiçoar as atividades estabelecidas nos planos de manutenção.

A tabela 25 apresenta a média e desvio padrão da frequência de realização de alguns tipos de formação que uma empresa pode fornecer às suas equipas de manutenção. Todas as médias são inferiores a 4, no entanto, a média é ligeiramente maior em relação à *formação sobre os equipamentos* e *formação acerca do processo de produção e modo de funcionamento dos equipamentos*, ao passo que é menor em relação às *metodologias de apoio à gestão da manutenção* e, *técnicas e ferramentas para análise de falhas*.

Tabela 25 - Formação da equipa de manutenção.

Atividade	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
Os técnicos de manutenção recebem treinamento em equipamentos	1	5	3,54	1,02
Os técnicos de manutenção recebem treinamento no processo produtivo e modo de operação	1	5	3,46	1,06
Os técnicos recebem treinamento em metodologias, técnicas e ferramentas de auxílio à gestão da manutenção	1	5	2,87	1,20

Por fim, tendo em conta as respostas das respetivas áreas de manutenção das empresas, a pesquisa identificou que 56.94% destas forneceram sessões de formação para 40% ou menos do pessoal de manutenção, enquanto apenas 15.28% das empresas forneceram formação para cerca de 81 a 100% de sua equipa, configurando um baixo investimento no desenvolvimento de competência das equipas de manutenção (dados do ano em que foi realizado o inquérito).

6.4 Análise comparativa

Esta secção apresenta uma análise comparativa de resultados de forma a identificar semelhanças ou diferenças na adoção de práticas de manutenção em empresas:

- nacionais e internacionais;
- que têm e não têm implementado o TPM;
- que possuem e não possuem um CMMS.

6.4.1 Análise comparativa das práticas de manutenção nas empresas nacionais e internacionais

Neste estudo pretende-se avaliar se a origem das organizações tem influência na percepção da manutenção e nas práticas adotadas, uma vez que a cultura organizacional pode ser um fator que influencia o comportamento das pessoas dentro das organizações. De um total de 72 empresas que responderam ao questionário, 31 (43%) correspondem a empresas nacionais e 41 (57%) a empresas internacionais. Sendo assim, os dados foram estratificados para cada uma das questões analisadas e procedeu-se à formulação de hipóteses para a realização de testes comparativos.

Para esse efeito, foram analisadas as respostas das empresas nacionais e internacionais às questões 6, 11, 13, 14, 17, 18, 22, 26, 28, 34 e 35 do questionário. O

teste de independência de Qui-quadrado foi aplicado para avaliar a resposta das empresas nacionais e internacionais à questão 6, relativa à percepção da manutenção dentro da empresa, tendo sido formulada a seguinte hipótese nula:

H₁. A percepção da manutenção como um fator estratégico é independente da origem das empresas.

As informações relativas a este teste são apresentadas na tabela 26 e, sendo $\chi^2(1) = 5,755$ e $p-value = 0,038$, conclui-se que se *rejeita a hipótese nula*, o que significa que a percepção de que a manutenção é estratégica é dependente da origem da organização. Para 90% das empresas que participaram na pesquisa, existe a percepção de que a manutenção é estratégica. Estratificando os valores, verifica-se que 61,5% destas empresas são empresas de origem internacional e 38,5% são de origem nacional.

Tabela 26 - Origem vs percepção da manutenção.

Teste Qui-quadrado			Manutenção é função estratégica		Total
Origem	Nacional	Contagem	Sim	Não	
		Contagem Esperada	28,0	3,0	31,0
	Internacional	Contagem	40	1	41
		Contagem Esperada	47,0	4,0	41,0
	Total		65	7	72
			65,0	7,0	72,0

Para identificar uma possível relação de dependência entre a resposta à questão 17 e a origem da empresa foi realizado um teste de independência de Qui-quadrado, tendo sido formulada a seguinte hipótese nula:

H₂. A adoção de indicadores de desempenho é independente da origem da empresa.

As informações relativas à este teste são apresentadas na tabela 27 e, sendo $\chi^2(1) = 16,574$ e $p-value = 0,000$, conclui-se que se *rejeita a hipótese nula*, o que significa que a adoção de indicadores de desempenho pela área de manutenção está relacionada com a origem da empresa.

Tabela 27 - Adoção de Indicadores de desempenho vs Origem.

Teste Qui-quadrado			Adoção de Indicadores de Desempenho		Total
Origem	Nacional	Contagem	Sim	Não	
		Contagem Esperada	24,1	6,9	31
	Internacional	Contagem	39	2	41
		Contagem Esperada	31,9	9,1	41
	Total		Contagem	16	72
			Contagem Esperada	16	72

Os resultados indicam que 77,78% das empresas adotam indicadores de desempenho e 22,22% não adotam. As empresas utilizam com mais frequência indicadores económicos, disponibilidade e tempo de paragem para apoiar a equipa de manutenção na busca de melhorias, tais como a redução dos custos totais de manutenção, o aumento da disponibilidade e a redução do tempo de paragem devido a avarias dos equipamentos.

Os indicadores mais utilizados pelas empresas de origem nacional são os indicadores económicos, a disponibilidade e o downtime. Para as empresas de origem internacional, os indicadores de desempenho mais utilizados são os mesmos.

A divulgação dos indicadores junto da equipa de manutenção auxilia no planeamento de ações de melhoria necessárias, no caso de os resultados estarem abaixo das metas estabelecidas pela área de manutenção e pela organização. Com efeito, para identificar uma possível relação de dependência entre a resposta à questão 18 e a origem da empresa foi realizado um teste de independência de Qui-quadrado, tendo sido formulada a seguinte hipótese nula:

H₃. A divulgação dos indicadores de desempenho para a equipa de manutenção é independente da origem da empresa.

As informações relativas à este teste são apresentadas na tabela 28. Como $\chi^2_{(1)} = 5,457$ e $p\text{-value} = 0,028$, conclui-se que se *rejeita a hipótese nula*, e significa que a divulgação de indicadores de desempenho para a equipa técnica da área de manutenção está relacionada com a origem da empresa.

Tabela 28 - Divulgação de Indicadores de desempenho vs Origem.

Teste Qui-quadrado			Divulgação de Indicadores de Desempenho		Total
Origem	Nacional	Contagem	Sim	Não	
		Contagem Esperada	23,3	7,8	31
	Internacional	Contagem	35	6	41
		Contagem Esperada	30,8	10,3	41
	Total		Contagem	18	72
			Contagem Esperada	18	72

Do ponto de vista da gestão, é importante perceber se o pessoal técnico sabe interpretar os valores dos indicadores de gestão adotadas pela área de manutenção da empresa, e se tem a formação adequada para entender e fazer uma análise crítica dos valores observados. Para identificar uma possível relação de dependência entre a resposta à questão 35 e a origem da empresa foi realizado um teste de independência de Qui-quadrado, tendo sido formulada a seguinte hipótese nula:

H₄. A interpretação dos indicadores de desempenho pela equipa de manutenção é independente da origem da empresa.

As informações relativas à este teste são apresentadas na tabela 29 e, como $\chi^2(1) = 1,488$ e $p\text{-value} = 0,237$, conclui-se que *não se rejeita a hipótese nula*, o que significa que se pode supor que a adequada interpretação de indicadores de desempenho pela equipa técnica de manutenção não está relacionada com a origem da empresa. Os resultados permitiram aferir que, em 60% das empresas, as equipas de manutenção sabem interpretar os resultados apresentados pelos indicadores de desempenho, ao passo que em 40%, as equipas não sabem.

Tabela 29 - Interpretação de Indicadores de desempenho vs Origem.

Teste Qui-quadrado		Interpretação de indicadores de desempenho		Total	
		Sim	Não		
Origem	Nacional	Contagem	16	15	
	Nacional	Contagem Esperada	18,5	12,5	
	Internacional	Contagem	27	14	
		Contagem Esperada	24,5	16,5	
Total		Contagem	43	29	
		Contagem Esperada	43,0	29,0	
				72,0	

De forma a identificar possíveis diferenças na frequência de utilização de metodologias e ferramentas nas empresas nacionais e internacionais (questão 14), foram realizados testes de Mann-Whitney, tendo sido formulada a seguinte hipótese:

H₅. A média das respostas da frequência de utilização de metodologias/ferramentas de análise de falhas pelas empresas nacionais e internacionais são iguais.

A estratificação dos resultados segundo a origem é apresentada na tabela 30. O valor de $p\text{-value}$ é distinto para cada metodologia/ferramenta. Para algumas metodologias ou ferramentas *não se rejeita a hipótese nula* e, para outras, *rejeita-se a hipótese nula*. Ou seja, para algumas metodologias/ferramentas avaliadas, pode-se supor que a média da frequência de utilização é igual.

Com um nível de significância de 0,05, *não se rejeita a hipótese nula* com respeito às metodologias 5S, 8D, Análise de Fiabilidade e RBD, ou seja, pode-se supor que a média das respostas da frequência de utilização de metodologias/ferramentas de análise de falhas pelas empresas nacionais e internacionais são iguais.

Rejeita-se a hipótese nula com respeito às metodologias FMEA, PDCA, RCA, FTA, Árvore de acontecimentos, Análise de risco, Diagrama de causa e efeito, e 5 Porquês, ou seja, a média das respostas da frequência de utilização de metodologias/ferramentas de análise de falhas pelas empresas nacionais e internacionais são diferentes.

Tabela 30 - Classificações: Metodologia/ferramenta análise de falhas vs Origem.

Test Mann-Whitney		N	Média	Soma de Classificações	p-value
FMEA	Nacional	31	1,58	889,5	0,003
	Internacional	41	2,39	1738,5	
PDCA	Nacional	31	2,35	857	0,001
	Internacional	41	3,37	1771	
RCA	Nacional	31	1,45	858,5	0,001
	Internacional	41	2,56	1769,5	
FTA	Nacional	31	1,32	958,5	0,017
	Internacional	41	1,83	1669,5	
5S	Nacional	31	3,29	975,5	0,065
	Internacional	41	3,93	1652,5	
8D	Nacional	31	1,61	1031	0,187
	Internacional	41	1,95	1597	
Análise Fiabilidade	Nacional	31	1,81	1086,5	0,581
	Internacional	41	2,00	1541,5	
Árvore de Acontecimentos	Nacional	31	1,19	952,5	0,008
	Internacional	41	1,66	1675,5	
Análise de Risco	Nacional	31	1,39	922	0,006
	Internacional	41	2,12	1706	
RBD	Nacional	31	1,35	1032,5	0,159
	Internacional	41	1,56	1595,5	
Diagrama de Causa e Efeito	Nacional	31	2,65	906	0,008
	Internacional	41	3,56	1722	
5 Porquês	Nacional	31	2,71	833,5	0,000
	Internacional	41	3,83	1794,5	

O teste de independência de Qui-quadrado foi aplicado para avaliar a resposta das empresas nacionais e internacionais à questão 11, relativa à adoção da manutenção preventiva, *tendo sido formulada a seguinte hipótese nula:*

H₆. A adoção da manutenção preventiva é independente da origem da empresa.

As informações relativas à este teste são apresentadas na tabela 31 e, como $\chi^2_{(1)} = 12,127$ e $p\text{-value} = 0,001$, conclui-se que se *rejeita a hipótese nula*, o que significa que a adoção de atividades de manutenção preventiva está relacionada com a origem da empresa e predomina nas empresas de origem internacional. Considerando apenas as empresas que adotam a manutenção preventiva, 65,6% são de origem internacional e 34,4% são de origem nacional.

Tabela 31 - Origem vs Manutenção preventiva.

Teste Qui-quadrado		Adoção de manutenção preventiva		Total	
		Sim	Não		
Origem	Nacional	Contagem	21	10	
	Internacional	Contagem Esperada	26,3	4,7	
		Contagem	40	1	
		Contagem Esperada	34,7	6,3	
Total		Contagem	61	11	
		Contagem Esperada	61,0	11,0	

Foi também realizado o teste de independência para análise da adoção da manutenção prebitiva e da manutenção detetiva, tendo-se obtido os seguintes valores: manutenção prebitiva ($\chi^2_{(1)} = 0,350$ e $p\text{-value} = 0,625$) e manutenção detetiva ($\chi^2_{(1)} = 0,397$ e $p\text{-value} = 0,723$). Sendo assim, conclui-se que *não se rejeita a hipótese nula em ambos os casos, não havendo relação entre a adoção destes tipos de manutenção e a origem da empresa*.

Com o intuito de identificar uma possível relação de dependência entre a origem da empresa e a adoção da metodologia de apoio à gestão da manutenção, o TPM, a resposta das empresas nacionais e internacionais à questão 13 foi analisada recorrendo ao teste de independência de Qui-quadrado, tendo sido formulada a seguinte hipótese:

H₇. A adoção de metodologias de apoio à gestão da manutenção (TPM) é independente da origem das empresas.

As informações relativas à este teste são apresentadas na tabela 32 e, como $\chi^2_{(1)} = 1,488$ e $p\text{-value} = 0,237$, conclui-se que *não se rejeita a hipótese nula*, o que indica que a adoção do TPM não está relacionada com a origem da empresa. Considerando apenas as empresas que afirmam adotar o TPM, 62,8% são empresas internacionais e 37,2% são empresas nacionais.

Tabela 32 - Origem vs Adoção do TPM.

Teste Qui-quadrado			Adoção do TPM		Total
Origem	Nacional	Contagem	Sim	Não	
		Contagem Esperada	18,5	12,5	31,0
	Internacional	Contagem	27	14	41
		Contagem Esperada	24,5	16,5	41,0
	Total		Contagem	43	72
			Contagem Esperada	43,0	29,0
					72,0

Com o intuito de identificar uma possível relação de dependência entre a origem da empresa e a existência de um CMMS, a resposta das empresas nacionais e internacionais à questão 26 foi analisada recorrendo ao teste de independência de Qui-quadrado, tendo sido formulada a seguinte hipótese:

H_8 . A adoção de CMMS para suportar as atividades relacionadas com a área de manutenção é independente da origem das empresas.

As informações relativas à este teste são apresentadas na tabela 33 e, como $\chi^2_{(1)} = 4,739$ e $p\text{-value} = 0,051$, conclui-se que *não se rejeita a hipótese nula*, o que significa que a adoção de CMMS não depende da origem das empresas.

Tabela 33 - Origem vs Adoção CMMS.

Teste Qui-quadrado			Adoção de CMMS		Total
Origem	Nacional	Contagem	Sim	Não	
		Contagem Esperada	12,5	18,5	31,0
	Internacional	Contagem	21	20	41
		Contagem Esperada	16,5	24,5	41,0
	Total		Contagem	29	72
			Contagem Esperada	29,0	43,0
					72,0

Com respeito aos resultados da pesquisa, 40,28% das empresas afirmam adotar um CMMS para suportar as atividades de manutenção, ao passo que 59,72% não o fazem. Relativamente às empresas que afirmam adotar CMMS, 72,42% são de origem internacional, ao passo que 27,58% são nacionais.

De forma a identificar possíveis diferenças na frequência de utilização das funcionalidades presentes no CMMS utilizado pelas empresas nacionais e internacionais (questão 28), foram realizados testes de Mann-Whitney, tendo sido formulada a seguinte hipótese:

H_9 . A média das respostas da frequência de utilização de funcionalidades de um CMMS pelas empresas nacionais e internacionais são iguais.

O resultado é apresentado na tabela 34, onde o valor de *p-value* está indicado para cada funcionalidade. Para algumas funcionalidades *não se rejeita a hipótese nula* e, para outras, *rejeita-se a hipótese nula*.

Para um nível de significância de 0,05, *não se rejeita a hipótese nula* associada à funcionalidade *Registo de instruções de trabalho* (*p-value* = 0,046), ou seja, pode-se supor que a média das respostas da frequência de utilização desta funcionalidade do CMMS pelas empresas nacionais e internacionais são iguais. Para as demais funcionalidades do CMMS avaliadas na pesquisa *rejeita-se a hipótese nula*, ou seja, a média das respostas da frequência de utilização desta funcionalidade do CMMS pelas empresas nacionais e internacionais são diferentes.

Tabela 34 - Classificações: Funcionalidades do CMMS vs Origem.

Test Mann-Whitney		N	Média	Soma de Classificações	p-value
Registo de equipamentos e respectivas peças ou grupos	Nacional	8	4,38	107,00	0,579
	Internacional	20	4,60	299,00	
Geração e controlo de ordens de serviço	Nacional	8	4,75	125,00	0,575
	Internacional	20	4,60	281,00	
Histórico de reparo de equipamentos	Nacional	8	4,88	135,50	0,211
	Internacional	20	4,50	270,50	
Histórico acerca de trabalhos de manutenção preventiva realizados	Nacional	8	4,88	131,50	0,298
	Internacional	20	4,5	274,50	
Histórico acerca de trabalhos de melhoria dos equipamentos realizados	Nacional	8	4,25	124,00	0,339
	Internacional	18	3,67	227,00	
Planeamento anual das tarefas preventivas	Nacional	8	4,75	132,00	0,074
	Internacional	17	4,06	193,00	
Planeamento mensal das tarefas preventivas	Nacional	8	4,38	118,00	0,524
	Internacional	18	4,22	233,00	
Planeamento semanal das tarefas preventivas	Nacional	8	4,38	126,50	0,166
	Internacional	17	3,71	198,50	
Alocação de recursos humanos às tarefas de manutenção	Nacional	8	4,25	110,50	0,478
	Internacional	16	3,94	189,50	
Controlo de inventário de peças e materiais	Nacional	8	3,50	77,00	0,174
	Internacional	15	4,27	199,00	
Planeamento de compra de peças e materiais	Nacional	8	3,63	95,00	0,945
	Internacional	15	3,73	181,00	
Registo de instruções de trabalho	Nacional	8	4,50	120,00	0,046
	Internacional	14	3,21	133,00	
Determinação de indicadores	Nacional	8	4,38	100,00	0,774
	Internacional	15	4,27	176,00	
Método de auxílio à análise de falhas	Nacional	6	2,67	48,50	0,299
	Internacional	13	3,46	141,50	
Orçamentação da manutenção	Nacional	8	4,00	85,50	0,617
	Internacional	14	4,14	167,50	
Análise de dados de monitorização da condição do equipamento	Nacional	6	3,50	52,50	0,864
	Internacional	10	3,40	83,50	

Relativamente à frequência de utilização de determinadas funcionalidades disponíveis num CMMS, de entre as que foram apontadas no questionário, as principais funcionalidades destacadas pelas empresas nacionais foram: *Histórico acerca de trabalhos de manutenção preventiva realizados*, *Histórico de reparações de equipamentos*, *Geração e controlo de ordens de serviço* e *Planeamento anual das tarefas preventivas*. Já para as empresas internacionais, as principais funcionalidades destacadas foram: *Registo de equipamentos e respetivas peças ou grupos*, *Geração e controlo de ordens de serviço*, *Histórico acerca de trabalhos de manutenção preventiva realizados*, *Histórico de reparações de equipamentos*.

Com o intuito de identificar uma possível relação de dependência entre a estratégia de desenvolvimento de competências para a equipa de manutenção e a origem da empresa, a resposta das empresas nacionais e internacionais à questão 34 foi analisada recorrendo ao teste de independência de Qui-quadrado, tendo sido formulada a seguinte hipótese:

H₁₀. A adoção de um plano de desenvolvimento de competências para as equipas de manutenção é independente da origem das empresas.

As informações relativas a este teste são apresentadas na tabela 35 e, como $\chi^2_{(1)} = 8,625$ e $p\text{-value} = 0,004$, conclui-se que se *rejeita a hipótese nula*, Podendo se supor que a adoção de plano de treino para as equipas de manutenção depende da origem da empresa.

Com base nos resultados obtidos através do questionário, verificou-se que 58,33% das empresas indicam que existe um plano de formação para o desenvolvimento profissional dos técnicos de manutenção, ao passo que 41,67% afirmam não existir. Avaliando as empresas que possuem um plano de desenvolvimento, 71,43% são de origem internacional e 28,57% são de origem nacional.

Tabela 35 - Origem vs Adoção de Plano de treino.

Teste Qui-quadrado		Plano de Treino		Total	
		Sim	Não		
Origem	Nacional	Contagem	12	19	
	Nacional	Contagem Esperada	18,1	12,9	
	Internacional	Contagem	30	11	
		Contagem Esperada	23,9	17,1	
Total		Contagem	42	30	
		Contagem Esperada	42,0	30,0	

De forma a identificar possíveis diferenças na frequência de realização de formações pelas áreas de manutenção das empresas nacionais e internacionais (questão 33), foram realizados testes de Mann-Whitney, tendo sido formulada a seguinte hipótese:

H₁₁. A média das respostas da frequência de realização de formações pela área de manutenção das empresas nacionais e internacionais são iguais.

Os resultados são apresentados na tabela 36, onde o valor de *p-value* é distinto para cada tipo de formação. Para alguns tipos de formação *não se rejeita a hipótese nula* e, para outros, *rejeita-se a hipótese nula*. *Rejeita-se a hipótese nula* com respeito à da frequência de “*treino em processo produtivo e modo de operação*”, ou seja, a média das respostas da frequência de formação nestas atividades pelas empresas nacionais e internacionais são diferentes. Também se *rejeita a hipótese nula* com respeito à avaliação da frequência de ‘*treino em equipamentos*’, ou seja, a média das respostas da frequência de formação nestas atividades pelas empresas nacionais e internacionais são diferentes.

Por fim, *não se rejeita a hipótese nula* com respeito à frequência de ‘*treino em metodologias, técnicas e ferramentas de auxílio à gestão da manutenção*’, ou seja, pode-se supor que a média das respostas da frequência de formação nestas atividades pelas empresas nacionais e internacionais são iguais.

Em geral, as empresas de origem internacional realizam mais formações para suas equipas quando comparadas com as empresas de origem nacional.

Tabela 36 - Classificações: Origem vs Formações.

Test Mann-Whitney		N	Média	Soma de Classificações	<i>p-value</i>
Treino em processo produtivo e modo de operação	Nacional	31	3,06	926,00	0,015
	Internacional	41	3,76	1702,00	
Treino em equipamentos	Nacional	31	3,23	957,00	0,038
	Internacional	41	3,78	1671,00	
Treino em metodologias, técnicas e ferramentas	Nacional	30	2,63	966,50	0,174
	Internacional	41	3,05	1589,50	

Com efeito, os testes realizados demonstram que, de entre as empresas que responderam ao questionário e que afirmaram que a manutenção é vista como estratégica para as organizações (65 empresas), predomina as empresas internacionais (62%), ou seja, a manutenção é tida como de maior importância nas empresas de origem internacional, independentemente do segmento industrial em que atuam. Com

respeito à adoção de indicadores de desempenho, os testes concluíram que há uma relação de dependência com a origem das empresas, com predominância das empresas de origem internacional, embora ressalte-se que os mesmos grupos de indicadores são utilizados com mais frequência por todas as empresas, nomeadamente os indicadores de desempenho relacionados com os custos, disponibilidade e tempo de paragem. Embora tenha sido identificado que apenas 60% dos membros das equipas da área de manutenção soubessem interpretar os resultados obtidos, a divulgação dos indicadores junto das equipas se realiza com maior frequência nas empresas de origem internacional.

Relativamente à adoção de metodologias e ferramentas para análise e prevenção de falhas não há distinção entre a origem das empresas e todas recorrem às mesmas opções apresentadas na pesquisa, ou seja, igualmente adotam 5S, 5 Porquês, Diagrama de causa e feito e o Ciclo PDCA.

No âmbito da adoção de estratégias de manutenção, as empresas de origem internacional prevalecem em relação às empresas de origem nacional quando a abordagem é a estratégia de manutenção preventiva. Para as demais estratégias de manutenção abordadas na pesquisa os resultados indicam que a origem das empresas não possui relevância.

Com respeito às metodologias de apoio à gestão da manutenção, nomeadamente o TPM, a origem das empresas não é um fator relevante para sua adoção, e o mesmo pode ser dito em relação às demais metodologias abordadas na pesquisa. Embora 60% das empresas que participaram na pesquisa tenham afirmado que adotam o TPM (43 empresas), e dentre elas 63% são de origem internacional (27 empresas) e 37% de origem nacional (16 empresas), a pesquisa não explorou se esta metodologia estava, de facto, implementada parcialmente ou na totalidade na organização.

Relativamente à adoção de um sistema informático dedicado ao apoio das atividades da gestão da manutenção - CMMS, e considerando a amostra de empresas que responderam ao questionário, a adoção de um CMMS não depende da origem das empresas. Conforme os resultados obtidos, 60% das empresas não adotam um sistema informático. Com respeito às funcionalidades e a sua frequência de uso, a origem não possui fator de relevância, e as funcionalidades mais utilizadas por ambas empresas são aquelas relacionadas com a geração e controlo de ordens de serviço, histórico de atividades preventivas, histórico de reparações e registo de peças e equipamentos.

Relativamente à formação fornecida aos membros da equipa de manutenção, constata-se que as empresas de origem internacional impulsionam com mais intensidade esta prática, uma vez que um maior número de membros das equipas de manutenção recebeu algum tipo de qualificação quando comparado com as empresas de origem nacional. Além disso, constatou-se que a existência de um plano de formação para o desenvolvimento de competências das equipas de manutenção possui maior relevância nas empresas de origem internacional.

6.4.2 Análise comparativa das práticas de manutenção nas empresas que adotam e não adotam o TPM

As metodologias que apoiam a gestão de manutenção têm por objetivo conduzir a boas práticas de manutenção e promover a melhoria dos resultados da área da manutenção de uma organização. De acordo com os resultados obtidos na pesquisa, pretende-se analisar a possível influência da adoção do TPM nas práticas da manutenção. Para esse efeito, foram analisadas as respostas das empresas às questões 11, 13, 17, 24, 26, 33 e 34 do questionário.

Com o intuito de identificar uma possível relação de dependência entre a adoção de indicadores de desempenho e a adoção do TPM, a resposta das empresas à questão 17 foi analisada recorrendo ao teste de independência de Qui-quadrado, tendo sido formulada a seguinte hipótese:

H₁₂. A adoção de indicadores de desempenho é independente da adoção do TPM.

As informações relativas a este teste são apresentadas na tabela 37 e, como $\chi^2_{(1)} = 14,356$ e $p-value = 0,000$, conclui-se que se *rejeita a hipótese nula*, o que significa a utilização de indicadores de desempenho tem relação com a adoção do TPM.

Tabela 37 - Adoção de Indicadores de desempenho vs Adoção TPM.

Teste Qui-quadrado		Adoção TPM		Total
		Sim	Não	
KPI	Possui KPI	Contagem	40	16
	Possui KPI	Contagem Esperada	33,4	22,6
	Não possui KPI	Contagem	3	13
	Não possui KPI	Contagem Esperada	9,6	6,4
Total		Contagem	43	29
		Contagem Esperada	43,0	29,0
				72

Com o intuito de identificar uma possível relação de dependência entre a adoção do TPM e a adoção da estratégia de manutenção preventiva, a resposta das empresas

à questão 11 foi analisada recorrendo ao teste de independência de Qui-quadrado, tendo sido formulada a seguinte hipótese:

H₁₃. A adoção da manutenção preventiva é independente da adoção do TPM.

As informações relativas a este teste são apresentadas na tabela 38 e, como $\chi^2_{(1)} = 2,945$ e $p\text{-value} = 0,105$, conclui-se que *não se rejeita a hipótese nula*. Pode-se então supor que a adoção do TPM não impulsiona as atividades de manutenção preventiva.

Tabela 38 - Manutenção preventiva vs Adoção TPM.

Teste Qui-quadrado			Adoção TPM		Total
MP	Não	Contagem	Sim	Não	
		Contagem Esperada	6,6	4,4	11,0
	Sim	Contagem	39	22	61
		Contagem Esperada	36,4	24,6	61,0
	Total		Contagem	43	29
			Contagem Esperada	43,0	29,0

Com o intuito de identificar uma possível relação de dependência entre a adoção de um CMMS e a adoção do TPM, a resposta das empresas à questão 26 foi analisada recorrendo ao teste de independência de Qui-quadrado, tendo sido formulada a seguinte hipótese:

H₁₄. A adoção de um sistema informático para apoio à gestão da manutenção (CMMS) é independente do TPM.

As informações relativas a este teste são apresentadas na tabela 39 e, como $\chi^2_{(1)} = 3,252$ e $p\text{-value} = 0,089$, conclui-se que *não se rejeita a hipótese nula*, podendo-se supor que a adoção do TPM não está relacionado com a adoção de um sistema informático.

Tabela 39 - Adoção CMMS vs Adoção TPM.

Teste Qui-quadrado			Adoção TPM		Total
CMMS	Não	Contagem	Sim	Não	
		Contagem Esperada	25,717,3	17,3	43,0
	Sim	Contagem	21	8	29
		Contagem Esperada	17,311,7	11,7	29,0
	Total		Contagem	43	29
			Contagem Esperada	43,0	29,0

Com o intuito de identificar uma possível relação de dependência entre a normalização de procedimentos dos documentos utilizados pela área de manutenção e

a adoção do TPM, a resposta das empresas à questão 24 foi analisada recorrendo ao teste de independência de Qui-quadrado, tendo sido formulada a seguinte hipótese:

H₁₅. A normalização dos procedimentos para ações preventivas é independente da adoção do TPM.

As informações relativas a este teste são apresentadas na tabela 40 e, como $\chi^2_{(1)} = 3,493$ e $p\text{-value} = 0,077$, conclui-se que *não se rejeita a hipótese nula*, com um nível de significância de 0,05.

Tabela 40 - Adoção procedimentos escritos vs Adoção TPM.

Teste Qui-quadrado			Adoção TPM		Total
Procedimentos escritos	Não	Contagem	Sim	Não	
		Contagem Esperada	28,7	19,3	48,0
	Sim	Contagem	18	6	24
		Contagem Esperada	14,3	9,7	24,0
	Total		43	29	72
			43,0	29,0	72,0

Com o intuito de identificar uma possível relação de dependência entre a adoção de um plano de formação para a equipa de manutenção e a adoção do TPM, a resposta das empresas à questão 34 foi analisada recorrendo ao teste de independência de Qui-quadrado, tendo sido formulada a seguinte hipótese:

H₁₆. A adoção de um plano de formação para a equipa de manutenção é independente da adoção do TPM.

As informações relativas a este teste são apresentadas na tabela 41 e, como $\chi^2_{(1)} = 8,316$ e $p\text{-value} = 0,007$, conclui-se que *se rejeita a hipótese nula*. Isso significa que a adoção do TPM está relacionada com a adoção de um plano de formação para o desenvolvimento de competências da equipa de manutenção.

Tabela 41 - Adoção plano de treino vs Adoção TPM.

Teste Qui-quadrado			Adoção TPM		Total
Plano de Treino	Não	Contagem	Sim	Não	
		Contagem Esperada	17,9	12,1	30,0
	Sim	Contagem	31	11	42
		Contagem Esperada	25,1	16,9	42,0
	Total		43	29	72
			43,0	29,0	72,0

De forma a identificar possíveis diferenças na frequência de formação realizada pelas áreas de manutenção das empresas em função da adoção do TPM (questão 33), foram realizados testes de Mann-Whitney, tendo sido formulada a seguinte hipótese:

H₁₇. A média das respostas da frequência de formação realizada pela área de manutenção para as empresas que adotam e não adotam o TPM são iguais.

Os resultados são apresentados na tabela 42, onde o valor de *p-value* é distinto para cada tipo de formação. Para alguns tipos de formação *não se rejeita a hipótese nula* e, para outros, *rejeita-se a hipótese nula*.

Rejeita-se a hipótese nula com respeito à frequência de ‘treino em processo produtivo e modo de operação’, bem como *em relação ao ‘treino em metodologias, técnicas e ferramentas de auxílio à gestão da manutenção’*, ou seja, a média das respostas da frequência de treino nestas atividades pelas empresas que adotam e não adotam o TPM são diferentes e podemos assumir que a adoção do TPM é um fator que impulsiona a realização de tais treinos para as equipas de manutenção.

Por fim, *não se rejeita a hipótese nula* com respeito à frequência de ‘treino em equipamentos’, ou seja, a média das respostas da frequência de formação nestas atividades pelas empresas são iguais e a adoção do TPM não é um fator relevante para que este tipo de treino seja realizado junto das equipas de manutenção.

Tabela 42 - Tipos de treino vs Adoção TPM

Test Mann-Whitney		N	Postos de média	Soma de Classificações	p-value
Os técnicos de manutenção recebem treinamento no processo produtivo e modo de operação	Não adota TPM	29	3,03	851,50	0,013
	Adota TPM	43	3,74	1776,50	
Os técnicos de manutenção recebem treinamento em equipamentos	Não adota TPM	29	3,24	907,50	0,070
	Adota TPM	43	3,74	1720,50	
Os técnicos recebem treinamento em metodologias, técnicas e ferramentas de auxílio à gestão da manutenção	Não adota TPM	28	2,18	684,00	0,000
	Adota TPM	43	3,33	1872,00	

Os testes realizados demonstram que, embora 59,72% das empresas que responderam ao questionário (43 empresas) e que afirmaram adotar o TPM como metodologia de apoio à gestão da manutenção, os resultados esperados com a adoção desta metodologia não são totalmente alcançados. Embora se espere que a sua adoção impulsione medidas que melhorem os resultados da área de manutenção, identificou-se que apenas as hipóteses relacionadas com o desenvolvimento de competências das equipas e uso de indicadores de desempenho foram confirmadas nos testes como consequência da adoção desta metodologia. As hipóteses relacionadas com o planeamento de atividades de manutenção, normalização e

controlo de documentos e uso de um sistema informático, não são influenciados pela adoção desta metodologia.

Além disso, o questionário não se propôs a investigar o grau de implementação do TPM nas organizações, de maneira a perceber se todos os seus pilares estão efetivamente implementados. Ou seja, não se pode confirmar que o TPM está de facto implementado nestas organizações.

6.4.3 Análise comparativa das práticas de manutenção nas empresas que adotam e não adotam um CMMS

As metodologias e ferramentas que apoiam a gestão de manutenção têm por objetivo conduzir a boas práticas de manutenção e promover a melhoria dos resultados da área de manutenção de uma organização. De acordo com os resultados obtidos na pesquisa, pretende-se avaliar se a adoção de um sistema informático dedicado às atividades da área de manutenção, CMMS, tem influência nas práticas da manutenção. Para esse efeito, foram analisadas as respostas das empresas às questões 11, 17 e 24 do questionário.

Com o intuito de identificar uma possível relação de dependência entre a adoção de indicadores de desempenho da manutenção e a utilização de um sistema informático dedicado à gestão da manutenção, a resposta das empresas à questão 17 foi analisada recorrendo ao teste de independência de Qui-quadrado, tendo sido formulada a seguinte hipótese:

H₁₈. A adoção de indicadores de desempenho é independente da adoção de um CMMS.

As informações relativas à este teste são apresentadas na tabela 43 e, como $\chi^2(1) = 9,902$ e $p\text{-value} = 0,001$, conclui-se que se *rejeita a hipótese nula*, o que significa que a adoção de indicadores de desempenho tem relação com a adoção de um CMMS.

Tabela 43 - Adoção CMMS vs Adoção KPI

Teste Qui-quadrado		Adoção KPI		Total
		Sim	Não	
Adoção CMMS	Não	Contagem	28	15
	Não	Contagem Esperada	33,4	9,6
	Sim	Contagem	28	1
	Sim	Contagem Esperada	22,6	6,4
Total		Contagem	56	16
		Contagem Esperada	56,0	16,0
				72
				72,0

Com o intuito de identificar uma possível relação de dependência entre a adoção da estratégia de manutenção preventiva com a adoção de um CMMS, a resposta das empresas à questão 11 foi analisada recorrendo ao teste de independência de Qui-quadrado, tendo sido formulada a seguinte hipótese:

H_{19} . A adoção da manutenção preventiva é independente da adoção de um CMMS.

As informações relativas a este teste são apresentadas na tabela 44 e, como $\chi^2_{(1)} = 5,250$ e $p\text{-value} = 0,041$, conclui-se que se *rejeita a hipótese nula*, o que significa que a adoção de um CMMS possui relação a adoção de atividades de manutenção preventiva.

Tabela 44 - Adoção CMMS vs Adoção manutenção preventiva.

Teste Qui-quadrado			Adota Manutenção Preventiva		Total
Adoção CMMS	Não	Contagem	Sim	Não	
		Contagem Esperada	36,4	6,6	43,0
	Sim	Contagem	28	1	29
		Contagem Esperada	24,6	4,4	29,0
	Total		61	11	72
			61,0	11,0	72,0

O mesmo estudo aplicado a outras estratégias de manutenção abordadas na pesquisa permite concluir que *não se rejeita a hipótese nula* com respeito à manutenção detetiva ($\chi^2_{(1)} = 0,998$ e $p\text{-value} = 0,470$) e *rejeita-se a hipótese nula* relativamente à manutenção preditiva ($\chi^2_{(1)} = 10,624$ e $p\text{-value} = 0,002$). Verifica-se que a utilização de um CMMS favorece a adoção de atividades preventivas e preditivas.

Com o intuito de identificar uma possível relação de dependência entre a adoção do CMMS com a normalização dos procedimentos utilizados pela área de manutenção da organização, a resposta das empresas à questão 24 foi analisada recorrendo ao teste de independência de Qui-quadrado, tendo sido formulada a seguinte hipótese:

H_{20} . A adoção de um CMMS não influencia na normalização dos procedimentos para ações preventivas usados pela área de manutenção.

As informações relativas à este teste são apresentadas na tabela 45 e, como $\chi^2_{(1)} = 0,722$ e $p\text{-value} = 0,452$, conclui-se que *não se rejeita a hipótese nula*. Isso significa que a adoção de um CMMS não impulsiona a normalização dos documentos utilizados pela área de manutenção das empresas.

Tabela 45 - Adoção CMMS vs Procedimentos para manutenção preventiva.

Teste Qui-quadrado			Procedimentos para todas ações de Manutenção Preventiva		Total
Adoção CMMS	Não	Contagem	Sim	Não	
		Contagem Esperada	14,3	28,7	43,0
	Sim	Contagem	8	21	29
		Contagem Esperada	9,7	19,3	29,0
	Total		Contagem	24	48
			Contagem Esperada	24,0	48,0
					72,0

Embora se espere que a adoção de um CMMS impulsione medidas que melhorem os resultados da área de manutenção, identificou-se que apenas o uso de indicadores de desempenho e o planeamento das atividades preventivas são influenciadas pela adoção de um CMMS. Além disso, identificou-se que a normalização e controlo de documentos não possui relação com o uso de um CMMS.

O questionário não se propôs a investigar o grau de uso do CMMS nas organizações, de maneira a perceber se está efetivamente a atender às necessidades da área de manutenção da organização. Ou seja, não se pode confirmar que o uso do CMMS está de facto a ser efetivo nestas organizações.

7. DESENVOLVIMENTO DO MODELO DE MATURIDADE

Neste capítulo será apresentado o modelo de maturidade a ser aplicado no âmbito da manutenção, bem como a apresentação e fundamentação para cada uma das classes desenvolvidas e respetivos níveis.

7.1 As Classes do Modelo

O modelo de maturidade proposto neste trabalho tem por objetivo auxiliar a área de manutenção da empresa a identificar os potenciais de melhoria, a partir do reconhecimento de suas fraquezas, para que um plano de ação buscando alcançar níveis superiores sejam desenvolvidos.

Com efeito, propõe-se um modelo de maturidade com cinco níveis de progressão e dez classes para avaliação do estado de maturidade nas organizações, que a seguir se apresentam:

- *Cultura Organizacional;*
- *Política de Manutenção;*
- *Gestão de Desempenho;*
- *Análise de Falhas;*
- *Planeamento e Programação das Atividades de Manutenção Preventiva;*
- *CMMS;*
- *Gestão de Estoques (Compras e Inventário);*
- *Normalização e Controlo dos Documentos;*
- *Gestão de Recursos Humanos;*
- *Gestão de Resultados (Custos e Qualidade da Manutenção).*

Cada classe e respetivos níveis são explicados e justificados nas subsecções que se seguem.

7.1.1 Cultura Organizacional

De acordo com Gulati (2009), cultura refere-se a valores, crenças e comportamentos de uma organização sendo, em geral, estas crenças e valores que definem como as pessoas interpretam experiências e se comportam, individualmente e em grupos.

De Vitte e Van Muijen (1999) sintetizam o pensamento de vários autores no trabalho denominado *Cultura Organizacional* onde se percebe a natural divergência sobre o conceito de cultura organizacional. Alguns autores pensam que a cultura organizacional pode ser facilmente controlada, ao passo que, para outros, isso é muito difícil, pois a gestão da cultura organizacional está limitada a diversos fatores como a multiplicidade e complexidade das subculturas, interesses políticos conflitantes e falhas de comunicação. Os defensores de uma cultura pragmática argumentam que a cultura organizacional pode ser orientada, ao passo que os puristas entendem que a cultura organizacional não pode ser gerida, mas evolui.

Conforme O'Reilly III *et al.* (1991), e considerando a existência de divergências sobre alguns elementos de definição e medição, os pesquisadores concordam que a cultura pode ser um fator importante na determinação de como os indivíduos se encaixam no contexto de organização.

Uma vez que a cultura organizacional está diretamente ligada com o comportamento dos indivíduos, pode-se perceber se medidas que irão afetar as pessoas podem ser facilmente implementadas ou não. Bortolotti *et al.* (2005) sustenta que a cultura organizacional é crucial para a implementação da Metodologia Lean e muitos autores apresentam declarações semelhantes (Atkinson, 2010; Baird *et al.*, 2011; Liker, 2004; Liker & Rother, 2011; Sim & Rogers, 2009). Acosta *et al.* (2002), no caso de estudo em que compararam os resultados da implementação do TPM numa empresa americana e numa empresa mexicana, mostraram que a cultura organizacional influenciou de forma significativa a implementação do TPM. Os resultados sugerem que a implementação bem-sucedida teria ocorrido mais cedo se os envolvidos tivessem reconhecido o impacto das diferenças culturais regionais desde o início. Muitos autores identificam que a cultura organizacional influencia grandemente a implementação do TPM, especialmente no que diz respeito às dificuldades relacionadas com as atividades relativas à manutenção autónoma, estratégias de formação, entre outros (Aspinwall & Elgharib, 2013; Bamber, 1999, 2000; Cooke, 2000; Gupta *et al.*, 2006; Labib, 1999; Maletić *et al.*, 2014; Mishra *et al.*, 2008; Panneerselvam, 2012; Prajogo & Sohal, 2006; Rodrigues & Hatakeyama, 2006; Sharma & Sharma, 2014; Wireman, 1992). Com efeito, esta relação deve ser considerada quando a organização deseja implementar modelos que suportam a gestão da manutenção tais como, RCM, Manutenção Lean, bem como a adoção de indicadores de desempenho. Além destes aspectos destacados, McDermott e Stock (1999), em estudos realizados em empresas

americanas, sustenta que as características culturais são significativamente relacionadas com os avanços da tecnologia da fabrico da empresa.

Clarke e Garside (1997) propõem um modelo de melhores práticas para a gestão de mudanças, em que o *comprometimento, pessoas, comunicação, métodos e interações* são avaliadas em seis níveis. Neste modelo a cultura organizacional é abordada no fator *pessoas*, evidenciando a existência de uma cultura organizacional *reativa*, ou seja, organizações onde as pessoas não aceitam mudanças facilmente, bem como a existência de organizações com cultura *pró-ativa*, ou seja, organizações onde as pessoas estão totalmente comprometidas com a mudança.

Adicionalmente, alguns autores admitem que a cultura organizacional pode ser influenciada pela origem das empresas (Arts *et al.*, 1998; Craig & Douglas, 2006; De Witte *et al.*, 1999; Folan & Browne, 2005; Valmohammadi & Roshanzamir, 2015).

Assim, de acordo com o referido acima, a classe “Cultura Organizacional” e respetivos níveis são propostos e apresentados na figura 63 para integrar o modelo de maturidade.

Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5
<ul style="list-style-type: none"> Mudanças não são bem aceites; Não existe orientação para melhoria contínua e para o trabalho em equipa. 	<ul style="list-style-type: none"> Mudanças são aceites com relutância. Identificada a necessidade de ações para melhoria contínua, mas ainda não adotadas. Limitado trabalho em equipa. Falta espírito de equipa. 	<ul style="list-style-type: none"> Mudanças são aceitas e consideradas importantes. Implementação de ações para melhoria contínua. Trabalho em Equipa. Falta espírito de equipa. 	<ul style="list-style-type: none"> Mudanças são aceitas e consideradas importantes. Ações para melhoria contínua com metodologias definidas. Trabalho em Equipa. Espírito de equipa. 	<ul style="list-style-type: none"> Existe comprometimento com a mudança, adaptando-se às novas prioridades estratégicas. Ações para melhoria contínua com metodologias definidas e enraizadas. Trabalho em Equipa. Espírito de equipa.

Figura 63 - Classe Cultura Organizacional.

7.1.2 Política de Manutenção

Na literatura relativa à gestão da manutenção é muito comum se constatar a associação do conceito Política de Manutenção como sendo a estratégia definida para planejar e programar as atividades de manutenção dos equipamentos. Esta classe será interpretada de forma similar como é definida a política da qualidade de uma organização. Conforme a Norma NBR ISO 9001:2008, a política da qualidade deve atender ao propósito da organização, onde a alta direção estabelece um compromisso

formal e firma seu comprometimento com a qualidade, o atendimento às necessidades dos clientes e com a melhoria continua do sistema da qualidade da organização, fornecendo a estrutura para o estabelecimento dos objetivos da qualidade que irão nortear os programas e ações da empresa, sendo amplamente divulgada, analisada criticamente e revisada.

Os gestores da área de manutenção, segundo a Norma NP 4483:2009, devem ter o compromisso em desenvolver e implementar um sistema de gestão de manutenção e procurar a sua melhoria contínua, conforme a política de manutenção da organização, estando esta apropriadamente alinhada com os objetivos da organização.

Conforme a Norma NBR ISO 55002:2014, a política de gestão de ativos é uma declaração breve que estabelece os princípios pelos quais a organização pretende aplicar a gestão de ativos para alcançar os seus objetivos organizacionais, estando alinhada e demonstrando apoio aos objetivos organizacionais. A norma destaca que a política de gestão de ativos estabelece os compromissos e as expectativas para as decisões, atividades e comportamentos relativos à gestão de ativos, devendo estar alinhada e demonstre apoio aos objetivos organizacionais. Muchiri *et al.* (2011) sustentam que, uma vez que os objetivos e estratégias tenham sido estabelecidas, o sucesso da função manutenção é dependente da gestão das atividades de manutenção.

Cholasuke *et al.* (2004), em seu trabalho de campo nas indústrias britânicas, propõe uma categoria de análise na qual a política de manutenção deve ser derivada da estratégia de negócios da empresa ou da estratégia de fabrico da organização, conceito este que também é sustentado por alguns investigadores (Dunn, 1996; Kelly, 1997; Wilson, 1999).

Jonsson (1997), ao avaliar o estado da manutenção em empresas suecas, observa que a falta de ligação entre a política de manutenção e a estratégia global da empresa pode resultar em um desempenho insatisfatório da área de manutenção. Robson *et al.* (2013) propõe um modelo que, a partir de leituras do ambiente externo, direcionam a estratégia de produção que, por sua vez, estará ligada e direcionará a estratégia de manutenção, com o intuito de derivar a política de manutenção a partir da política da organização. Ou seja, os autores descreveram um novo modelo e ferramenta de diagnóstico que mede os processos e estabelece as ligações entre as estratégias de manutenção e de produção.

Para Cabral (2006), a percepção da manutenção numa organização pode variar entre o mal necessário e sua constituição em uma das áreas mais importantes da organização. Esse estágio de elevada importância se dá através do contributo para o bom desempenho produtivo, obediência à legislação de segurança, qualidade do produto, boas relações interpessoais, imagem da organização e rentabilidade económica. Para Wireman (2005), o estágio ótimo se dá quando a manutenção é orientada para a maximização da produção a um custo baixo, elevada qualidade e atuando dentro dos padrões de segurança e optimizando os recursos de manutenção.

Assim, de acordo com o referido acima, a classe “Política de Manutenção” e respetivos níveis são propostos e apresentados na figura 64 para integrar o modelo de maturidade.

Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5
<ul style="list-style-type: none"> • Manutenção é considerada um mal necessário, estando voltada para a resolução de avarias no menor tempo possível. 	<ul style="list-style-type: none"> • Manutenção é considerada um mal necessário, mas reconhece-se a necessidade em atuar de forma preventiva. 	<ul style="list-style-type: none"> • Manutenção é considerada importante para atingir os objetivos da organização. • Atuação da manutenção de forma preventiva com vista ao aumento de produtividade e redução de custos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Manutenção é considerada importante para atingir os objetivos da organização. • Atuação da manutenção de forma proactiva (incluindo melhoria do equipamento) com vista ao aumento da produtividade, redução de custos e melhoria da qualidade. 	<ul style="list-style-type: none"> • Manutenção é considerada uma função estratégica. Atuação da manutenção de forma proactiva (incluindo melhoria do equipamento) e eficiente com vista ao aumento de produtividade, redução de custos, melhoria da qualidade e, redução de acidentes e impacto ambiental.

Figura 64 - Classe Política de Manutenção.

7.1.3 Gestão de Desempenho

Medir o desempenho é uma boa prática, construída na base de indicadores, que tem por objetivo avaliar as estratégias implementadas nas organizações (Amaral, 2016). Com efeito, há a necessidade de se reconhecer o nível de desempenho atual para, se necessário, implementar planos de melhoria com o objetivo de passar do nível inicial para o nível de desempenho desejado, fazendo uso de indicadores de desempenho adequados.

Conforme Pinto (2013), um indicador é uma relação racional e significativa do valor de dois elementos característicos da gestão da empresa. O autor sustenta que as boas práticas em *lean management* recomendam o largo uso de indicadores de

desempenho na gestão da manutenção, pois dão indicações importantes e úteis sobre o que se passa ao nível da manutenção.

Gulati (2009) sustenta que os indicadores de desempenho são uma importante ferramenta de gestão, uma vez que eles medem o desempenho do negócio, incluindo a manutenção. Além disso, os indicadores de desempenho da manutenção e operações devem ser integrados para serem eficazes e equilibrados. Para o autor, alguns critérios devem ser considerados ao decidir quais os aspectos de manutenção que se devem avaliar, sendo que os indicadores de desempenho devem medir de forma adequada o que se pretende avaliar, não devem ser manipulados para apresentar resultados favoráveis e convenientes para a área e devem exigir pouco esforço para a sua obtenção.

Com respeito ao tipo, expressão e definições, diversos autores adotam distintas classificações. Conforme Kumar *et al.* (2013), cada autor tem uma forma de classificar os indicadores de manutenção e também diferem na escolha destes. Entretanto, sustentam que alguns indicadores, e categorias de indicadores, são reconhecidos por todos os autores como vitais para a adequada gestão da função manutenção, como por exemplo o *OEE* (*Overall Equipment Efficiency* - eficácia global do equipamento), *MTBF* (*Mean Time Between Failures* - tempo médio entre avarias), *Disponibilidade*, bem como medidas associados aos custos de manutenção. Contudo, os autores chamam a atenção para a falta de consenso na indicação de como deve ser feita a escolha de indicadores de desempenho. Além disso, sustentam que o objetivo real de se medir o desempenho de manutenção é determinar a ação futura e melhorar o desempenho com base em dados do passado. Se uma organização não selecionar as métricas adequadas para medir o desempenho, os resultados podem ser irreais e as ações tomadas podem não surtir o efeito desejado.

Amrina e Vilsi (2015), analisou o uso de indicadores de desempenho para avaliar a sustentabilidade da produção em indústrias de cimento na Indonésia, utilizando a metodologia AHP (*Analytic Hierarchy Process* - Processo Analítico Hierárquico) para priorizar os indicadores, e agrupou os indicadores em três fatores, o fator *económico*, seguido do fator *meio ambiente* e o fator *social*. Relativamente aos indicadores de desempenho escolhido para cada fator, identificou-se que o indicador relacionado com os custos de material era considerado o mais importante, ao passo que consumo de energia era o indicador mais importante para o fator meio ambiente e, segurança e

saúde ocupacional o indicador mais importante para o fator social. Além disso, o grau de utilização de tais indicadores variava entre as empresas do setor.

Sari *et al.* (2015) propõem o conceito *Sustainable Maintenance Management* (*gestão sustentável da manutenção*) e definem um modelo para avaliar o desempenho da manutenção sustentável baseado em três pilares: económico, ambiental e social.

A literatura disponível no âmbito dos indicadores de desempenho mostra que a maioria dos autores enfatiza a necessidade dos indicadores de desempenho utilizados pela área de manutenção estajam alinhados com os objetivos organizacionais. Muchiri *et al.* (2011) propõem um modelo para avaliar a função manutenção que é composto por três secções: *alinhamento dos objetivos da área de produção com os objetivos da área de manutenção e formulação da estratégia de manutenção; análise das atividades e processos da manutenção; e análise de resultados do desempenho da manutenção*. Com efeito, para a secção de análise dos processos de manutenção, são definidos grupos de indicadores voltados para a identificação, planeamento, programação e execução das atividades de manutenção, indicadores designados de *leading performance indicators* e, para a secção de análise de resultados, são definidos indicadores para análise do desempenho e condição dos equipamentos, em conjunto com custos de manutenção, indicadores designados de *lagging performance indicators*. Os autores concluem, ainda, que os indicadores de desempenho não devem ser definidos de forma isolada, mas deve ser o resultado de uma análise cuidadosa da interação da função manutenção com outras funções da organização.

Numa pesquisa de campo relativa aos critérios para a adoção de indicadores de desempenho pela área de manutenção de indústrias situadas na Bélgica, foram identificados os indicadores de desempenho mais utilizados (Muchiri *et al.*, 2010). Os autores concluíram que os indicadores relacionados com segurança, saúde e meio ambiente eram os mais utilizados pelas empresas, atribuindo esse fenómeno à legislação do país e a auditorias para verificação do cumprimento dos requisitos previstos, seguido de indicadores de desempenho da manutenção, na seguinte ordem: *backlog, disponibilidade, número de intervenções de manutenção não planeada, custos totais de manutenção, MTBF, OEE, MTTR*, entre outros.

Outros autores consideram, ainda, que a decisão pela adoção de indicadores de desempenho são motivadas por questões relacionadas com o número de membros da equipa de manutenção, justificando, assim, o controlo das atividades (Cáceres, 2004; Wireman, 2005); número de equipamentos que a empresa possui e que estão sob a

responsabilidade da área de manutenção (Campbell & Reyes-Picknell, 2006; Marquez & Gupta, 2006); influência do segmento industrial a qual as empresas pertencem (Pintelon & Van Puyvelde, 1997; Svantesson, 2008); metodologias de apoio à gestão da manutenção - como indicadores para TPM e RCM, por exemplo, (Katsllometes, 2004; Maskell, 2000), bem como a dimensão da empresa (Sánchez & Pérez, 2001).

Pinto (2013) sustenta que a manutenção de históricos é necessária para uma adequada gestão da informação da manutenção, incluíndo: *registo técnico* ou *operacional*, que contém as ocorrências técnicas dos equipamentos ao longo da vida útil, e *registo contabilístico*, que contém as informações sobre custos de aquisição e de manutenção dos equipamentos. Enfatiza, ainda, que só há mais valia em manter tais registos se os mesmos forem utilizados para a geração de relatórios contendo análises estatísticas de avarias, modos de falhas e custos.

No âmbito da gestão da informação da manutenção, define-se como estágio de incerteza (nível 1), o nível de maturidade da área de manutenção caracterizada pela falta de registos, falta de disciplina em mantê-los, além da escassez de dados (Pinto, 2013). Como estágio de certeza (nível 5), considera-se o nível de maturidade atingido quando a informação da manutenção está plenamente integrada na empresa (Wireman, 1992).

Para Cabral (2006), a utilização de indicadores de desempenho só faz sentido se a área de manutenção estiver organizada, de modo que se tenha informações fiáveis para que se possa fazer uso de indicadores que poderão ancorar os projetos de melhoria baseados nesses indicadores. Segundo Assis (2010), a avaliação do desempenho da gestão faz-se comumente ao nível das estruturas organizacionais e não ao nível de linha de produção ou de um único equipamento.

Assim, de acordo com o referido acima, a classe “Gestão de Desempenho” e respetivos níveis são propostos e apresentados na figura 65 para integrar o modelo de maturidade.

Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5
• Não existem indicadores definidos.	• Indicadores de desempenho calculados esporadicamente, com incidência nos indicadores técnicos determinados para toda a produção ou/e ao nível da linha de produção.	• Indicadores de desempenho calculados periodicamente, com incidência nos indicadores técnicos e económicos, determinados para toda a produção, ao nível da linha e do equipamento.	• Indicadores técnicos, económicos e organizacionais fiáveis calculados e analisados periodicamente, apoiando a tomada de decisão dando origem esporadicamente a projetos de melhoria.	• Indicadores técnicos, económicos e organizacionais fiáveis e alinhados com os objetivos estratégicos da organização, calculados e analisados periodicamente, apoiando a tomada de decisão e dando origem a projetos de melhoria.

Figura 65 - Classe Gestão de Desempenho.

7.1.4 Análise de Falhas

Conforme Andersen e Fagerhaug (2006), debaixo de cada problema encontra-se uma causa para esse problema, de maneira que, ao tentar resolver um problema, deve-se identificar a sua causa (ou causas) e encontrar formas de eliminar estas causas e prevenir a sua recorrência. Os autores sustentam que, depois de estabelecer as causas reais, eliminá-las é muitas vezes uma tarefa muito mais fácil. Ou seja, a identificação da causa de um problema é um fator primordial. Os autores definem a Análise de Causa Raiz (*RCA* - *Root Cause Analysis*) como sendo um termo coletivo utilizado para descrever uma ampla gama de abordagens, ferramentas e técnicas utilizadas para descobrir as causas dos problemas. Algumas destas abordagens são mais orientadas para identificar as verdadeiras causas básicas do que outras; algumas são técnicas mais gerais de resolução de problemas, enquanto outras apenas oferecem apoio à atividade principal de análise da causa raiz. Algumas ferramentas são caracterizadas por uma abordagem estruturada, enquanto outras são mais criativas (e casuais) por natureza.

O principal objetivo é encontrar a causa raiz do problema e eliminá-la, sendo as ferramentas o elemento auxiliar de apoio que pode ajudar a alcançar esse objetivo, não devendo ser dada uma demasiada ênfase nas ferramentas levando o problema a tornar-se secundário.

Para Gulati (2009), se a causa raiz de uma falha não for tratada em tempo útil, a falha se repetirá, geralmente causando perda desnecessária de produção e aumentando o custo de manutenção, sendo análise de causa raiz uma metodologia que facilita a eliminação da causa e não apenas os sintomas associados a ela.

Chen (2013), utilizou a aplicação das metodologias FMEA (Failure Mode and Effect Analysis - Análise do Modo e Efeito das Falhas) e FTA (Fault Tree Analysis - Análise de Árvore de Falhas) de forma a integrar ambas as técnicas para estabelecer um sistema de manutenção autónoma preventiva em uma empresa situada em Taiwan. A base para a aplicação da metodologia de apoio à gestão da manutenção denominada Manutenção Centrada na Fiabilidade (RCM - *Reliability Centered Maintenance*) faz uso sistemático da metodologia FMEA para avaliar os possíveis modos de falhas e, por conseguinte, desdobrar as atividades de manutenção que serão recomendadas a partir das ações que serão determinadas para combater as causas de cada modo de falha estudado (Alsyouf, 2009; Moubray, 2000; Rausand, 1998; Siqueira, 2005). Marquez e Gupta (2006) citam outros métodos comuns usados na indústria que suportam a investigação da causa de falhas.

No âmbito do estudo da fiabilidade, Amaral (2016) propõe a utilização de modelos de fiabilidade estatísticos e modelos determinísticos. Para o autor, os modelos estatísticos baseiam-se em eventos passados de modo a inferir a condição futura de um componente, equipamento ou sistema. Já os modelos determinísticos possibilitam prever a vida útil do componente, equipamento ou sistema com base no modelo de degradação dominante, permitindo entender os mecanismos que conduzem à falha e tomar as ações preventivas necessárias. Além disso, enfatiza que as boas práticas aconselham a utilização e aplicação de metodologias como ferramentas de apoio à tomada de decisão (FMEA/FMECA, Árvore de Falhas, Árvore de acontecimentos, Análise de risco, RCM, Otimização dos planos de manutenção - OPM -, RCA, TPM, Análise de condição), quer como metodologias de estudo da fiabilidade previsional quer como modelos de análise e de prevenção de riscos.

Segundo Gomes (2013), a análise da criticidade dos equipamentos é uma metodologia para determinar quais equipamentos tem o maior impacto potencial sobre o atingimento das metas de negócios, de forma que equipamentos críticos são os equipamentos cuja falha tem o maior impacto potencial sobre os objetivos de negócio da empresa. Para Pedrosa (2014), com respeito à equipamentos críticos para o processo terão que ser ponderados vários campos de análise, que vão desde aspectos mais económicos até à análise dos riscos e suas consequências para as pessoas, negócio e ambiente, de forma a minimizar ou mitigar as causas das avarias, de anular ou diminuir os efeitos das suas consequências ou encontrar meios de deteção precoce que permitam atuar em tempo útil e, a partir daí, definir as metodologias mais

adequadas para o estudo das falhas. Similar entendimento é defendido por Morais (2005), de modo a adotar metodologias que permitam identificar os sistemas e respectivos componentes críticos dos equipamentos analisados, com o objetivo de definir o tipo de manutenção a realizar, a frequência de realização, permitindo assim organizar e planear melhor a manutenção, reduzindo os atrasos e aumentando a produtividade da empresa onde esses equipamentos se encontram.

Assim, de acordo com o referido acima, a classe “Análise de Falhas” e respetivos níveis são propostos e apresentados na figura 66 para integrar o modelo de maturidade.

Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5
<ul style="list-style-type: none"> Análise de falhas sem método definido, realizada quando ocorrem falhas com impacto significativo. 	<ul style="list-style-type: none"> Análise de falhas sem método definido, realizada esporadicamente e quando ocorrem falhas com impacto significativo. 	<ul style="list-style-type: none"> Análise de falhas periódica, baseada num método definido. 	<ul style="list-style-type: none"> Identificação de equipamentos críticos e falhas críticas de forma esporádica e implementação de medidas baseada na análise metódica de falhas que origina uma baixa reincidência de falhas. 	<ul style="list-style-type: none"> Informação atualizada de equipamentos críticos e falhas críticas, e implementação de medidas baseada na análise metódica de falhas, que origina a ausência de reincidência de falhas.

Figura 66 - Classe Análise de Falhas.

7.1.5 Planeamento e Programação das Atividades de Manutenção Preventiva

Conforme Pinto (2013), a partir da estratégia do negócio é definida a estratégia de manutenção, de forma a que seja feito o planeamento das atividades, a programação da manutenção, sua execução e controlo. Nesse contexto, os gestores da manutenção, por meio do adequado planeamento, definem a periodicidade dos trabalhos a serem realizados nos equipamentos e instalações da organização, de maneira que o processo de programação ocorre em várias etapas: definição do conjunto de tarefas mais adequadas a cada tipo de equipamento, compatibilização dos programas de manutenção e produção, compatibilização das ordens de trabalho com os recursos disponíveis e disponibilidade dos recursos necessários para a equipa de manutenção executar os trabalhos. Por fim segue-se a fase de execução, onde se dá a última etapa, que consiste no controlo da manutenção, de modo a garantir a realização dos trabalhados conforme o planeamento realizado.

Para Gulati (2009), o planeamento e programação deve seguir uma abordagem disciplinada, de forma que a utilização de recursos de manutenção seja eficaz, e a execução das tarefas de manutenção ocorram de forma eficiente. Conforme o autor,

isto é conseguido por meio de: a definição e clarificação do trabalho adequado; a priorização do trabalho; o desenvolvimento da sequência de trabalho e os passos para completar a tarefa; a identificar ferramentas necessárias, materiais e conjuntos de competências (Wireman, 2010); garantir a disponibilidade de materiais e dos ativos dentro dos prazos previstos; agendar o trabalho a ser feito em concordância com a produção e assegurar que os detalhes dos trabalhos concluídos sejam documentados no CMMS.

Pinto (2013) aborda que os trabalhos de manutenção podem ser classificados segundo as perspetivas do *modelo de gestão, periodicidade, grau de prioridade e nível de participação de operadores da produção*. Quanto ao modelo de gestão, os *trabalhos dividem-se em trabalhos planeados* (ações de manutenção preventiva sistemática, manutenção condicionada e *manutenção corretiva planeada*) e *trabalhos não planeados* (ações de manutenção corretiva de emergência). Quanto à periodicidade, os *trabalhos dividem-se em sistemáticos* (que se repetem ao fim de um determinado período de funcionamento ou outro modo, por exemplo, número de ciclos, quilómetros percorridos, produção realizada, dentre outras) e *trabalhos não sistemáticos* (de caráter aleatório). Relativamente à prioridade, define como sendo *trabalhos de emergência, urgentes, normais e de baixa prioridade*. Com respeito ao nível de participação, os cinco níveis apresentados conjugam o *grau de complexidade* das tarefas com as *competências* dos executantes, variando de simples atividades às atividades de grande complexidade.

Alsyouf (2009), no seu trabalho de campo em indústrias Belgas, identificou que as empresas dão maior ênfase a práticas preventivas, seguidas de práticas corretivas e preditivas (com uso de várias técnicas). Vários autores apresentam diferentes abordagens com respeito às formas de determinação das frequências das atividades, variando de intervalos baseado no tempo de calendário até aqueles baseados na quantidade de produtos produzidos por determinado equipamento (Goossens e Basten, 2015; Muchiri *et al.*, 2014; Per Hokstad e Bodsberg, 1996; Pintelon e Parodi-Hertz, 2008; Tinga, 2010; Wang e Pham, 1996; Wang, 2002).

Garg e Deshmukh (2006), a partir da compilação dos estudos de vários autores, apresentam uma vasta abordagem com respeito a modelos de otimização das atividade de manutenção, técnicas de manutenção, bem como a programação das atividades, recorrendo a modelos baseados na fiabilidade. De forma análoga, Mengue e Sellitto (2013) aplicam a análise de fiabilidade para determinar a estratégia de manutenção

mais adequada para equipamentos da indústria petrolífera, bem como utiliza estes resultados para revisar os planos de manutenção.

Relativamente às atividades de manutenção sendo direcionadas com base no planeamento da produção, Pereira (2016), num estudo caso desenvolvido em uma empresa do setor têxtil, exemplifica que o planeamento e execução das atividades de manutenção são feitos com base na disponibilidade dos equipamentos, estando associado à conclusão dos respetivos planos produção.

Assim, de acordo com o referido acima, a classe “Planeamento e Programação das Atividades de Manutenção Preventiva” e respetivos níveis são propostos e apresentados na figura 67 para integrar o modelo de maturidade.

Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5
• Atividades preventivas definidas depois da ocorrência de eventos críticos.	• Planeamento realizado com base nos manuais do fabricante abrangendo alguns equipamentos. • Atrasos e ações programadas não concluídas.	• Planeamento realizado com base nos manuais do fabricante abrangendo todos os equipamentos. • Atrasos e ações programadas não concluídas.	• Planeamento das atividades revisto em função da taxa de falhas e da monitorização do equipamento. • Desvios pontuais no cumprimento dos planos.	• Planeamento das atividades revisto em função da taxa de falhas e da monitorização do equipamento. • Programação definida em função da produção planeada.

Figura 67 - Classe Planeamento e Programação das Atividades de Manutenção Preventiva.

7.1.6 CMMS

De acordo com Fernandez *et al.* (2003), para uma estratégia ser eficaz, esta tem de ser firmemente suportada por um recurso valioso: *informação*. O papel dos sistemas informáticos de gestão de manutenção é apontado como uma poderosa ferramenta necessária para a obtenção de informações a partir de *dados não tratados* e apoiar o processo de tomada de decisão. O sistema informático (CMMS) implementado visa reduzir o tempo de inatividade total e a frequência das falhas das máquinas através da melhoria da eficácia e eficiência das atividades de manutenção. Um sistema informático simplifica e reduz o tempo de captura de dados em comparação com o sistema manual.

Fernandez *et al.* (2003), no trabalho de desenvolvimento de um sistema informático para uma indústria inglesa, refletem sobre as soluções oferecidas pelos sistemas informáticos disponíveis no mercado. A ausência de uma plataforma para análise de decisão nas soluções disponíveis comercialmente no mercado leva, por vezes, à necessidade de customização das aplicações. Além disso, os autores sustentam que a aquisição de um apropriado CMMS para atender às necessidades da

manutenção deve ser ditado pelos objetivos do departamento de manutenção. Segundo os autores seria um erro comprar um sistema com foco no software, ao invés de considerar as reais necessidades que os utilizadores finais irão precisar. Como resultado, os módulos que nunca seriam utilizados prejudicariam o verdadeiro potencial do sistema. Portanto, o CMMS deve ser versátil o suficiente para integrar novos módulos à medida que a função de manutenção evolui, permintindo ajustar o sistema aos objetivos de manutenção e não o contrário.

Labib (2004) aponta que os CMMS's disponíveis possuem uma lacuna no que diz respeito à falta de apoio para tomada de decisão. Segundo o autor, esta falta de apoio à decisão é um problema significativo, porque a chave para a manutenção sistemática e eficaz é a tomada de decisões de gestão apropriadas às circunstâncias particulares da máquina, fábrica ou organização.

Marquez e Gupta (2006) apresentam uma estrutura holística para a gestão da função manutenção, e nela abordam o pilar IT (*information technology* - tecnologia da informação) onde a utilização de um sistema informático é parte fundamental do pilar. Para os autores, quanto mais complexa é a instalação e quanto maior é o número de equipamentos sob a responsabilidade da área de manutenção, maior também é a necessidade da utilização de um sistema informático devido à quantidade de atividades e informações necessárias para a adequada gestão da área de manutenção (ideia também suportada por Campbell & Reyes-Picknell, 2006). Os autores defendem ainda a ideia de que o sistema precisa ser perfeitamente integrado com as diversas tecnologias disponíveis, de modo que a partilha de dados seja realizada (controladores lógicos programáveis, sistemas de supervisão, bem como sistemas que permitam o monitoramento da condição, por exemplo). Segundo os autores, os CMMS típicos fornecem funcionalidades que são normalmente agrupados em subsistemas e módulos para conjuntos específicos de atividades. Algumas destas atividades incluem, mas não estão limitados a: *criação de registos de ativos e manutenção; criação de lista de material para equipamentos e manutenção; histórico de ordem de trabalho; controlo de estoque; criação, programação, execução e conclusão de ordem de trabalho; desenvolvimento de plano de manutenção preventiva/programação; recursos humanos; compra e receção; faturas e contas a pagar; tabelas e relatórios*. Além destas funcionalidades, os autores consideram que o CMMS deve ser suficientemente capaz de permitir níveis de integração elevados com os sistemas de controlo existentes na empresa. Para isso, o CMMS deve ter capacidade de: *capturar e processar dados;*

apoiar a manutenção no nível operacional; determinar e acompanhar indicadores de desempenho de manutenção; apoiar as atividades de planeamento da manutenção; fornecer procedimentos para atividades de auditoria da manutenção; ser integrado com o sistema de informação global da empresa.

Além disso, Marquez e Gupta (2006) salientam que a mera posse de um CMMS caro não torna a organização proactiva na gestão da manutenção. Esta afirmação também é comprovada por Pereira (2016), num caso de estudo realizado numa empresa portuguesa do ramo têxtil, onde identificou que o sistema informático adotado oferecia muitas desvantagens aos utilizadores, tinha funções limitadas, era subutilizado, e não era adequado face às necessidades do departamento. O autor mostra que, com o passar do tempo, o sistema informático deixou de atender às necessidades da área, originando uma proposta de substituição por uma plataforma mais atual, de fácil utilização, que permitiria integração com os sistemas de controlo da empresa.

Para Gulati (2009) um sistema informático de gestão da manutenção é uma ferramenta essencial para todas as organizações de manutenção e pode ajudar a melhorar a eficiência e eficácia de um departamento de manutenção e, em última análise, a simplificar os fluxos de trabalho, a identificação, o planeamento e programação de tarefas, bem como a realização de relatórios. Para o autor, a seleção do mais adequado CMMS deve levar em conta a facilidade de uso, o suporte técnico do fornecedor, a capacidade de prover formação, bem como a garantia dos serviços. Gulati (2009) destaca ainda os fatores que dificultam a implementação do CMMS: a rotatividade da equipa, a falta de formação adequado e durante a implementação, a resistência da equipa, as restrições de hardware/software, o inadequado suporte do fornecedor e as políticas internas.

Para Campbell e Reyes-Picknell (2006), um dos maiores obstáculos para o uso eficaz de muitos CMMSs é a falta de dados fiáveis, nomeadamente dados sobre o histórico de falhas. Os dados de manutenção recolhidos em muitas empresas, mesmo aquelas que utilizam excelentes CMMS, não são fiáveis. E, mesmo que se recorra a muitas horas de esforço para tratar os dados disponíveis, haverá alguma incerteza sobre a sua precisão.

Swanson (1997) estabelece que um CMMS pode ser usado para *planejar e programar as ordens de serviço, agilizar a expedição e controlo das chamadas de avaria, automatizar as atividades de manutenção preventiva e preditiva, reforçar as capacidades de análise e relatórios, auxiliar no controlo dos estoques de manutenção e*

gerenciar a carga de trabalho global. Estes sistemas também oferecem à função manutenção o acesso rápido à informação quando for necessário e permite a análise de informações relacionadas com o desempenho do equipamento e utilização de recursos de manutenção. Além disso, o uso de CMMS também facilita a gestão de peças de reposição e outros recursos necessários para a manutenção.

Cholasuke *et al.* (2004), por meio de uma pesquisa em empresas britânicas, identificou que 33% das organizações não percebiam a importância das informações sobre manutenção. Eles ainda dependiam de registos manuais para gerir informações de manutenção e não possuíam medidas de desempenho. Um total de 40% das organizações usavam um computador pessoal para gerir informações de manutenção, mas os supostos benefícios em adotar sistemas informáticos não eram alcançados.

O estudo realizado às empresas do Polo Industrial de Manaus, apresentado no capítulo 6, revelou que 17% das organizações inquiridas adotam um sistema informático, 41% fazem uso de folhas de cálculo, 24% combinam a utilização de sistema informático com folhas de cálculo e 18% fazem uso apenas de registos manuais para organizar as atividades de manutenção da organização. Além disso, o resultado do teste de hipótese H_{18} permitiu concluir que há uma relação de dependência entre a adoção de indicadores de desempenho e adoção de um CMMS, e o resultado do teste de hipótese H_{19} permitiu concluir que há relação de dependência entre as atividades de manutenção preventiva e a adoção de um CMMS.

Jones e Colins (1996), aplicando uma pesquisa para avaliar o emprego de CMMS em organizações públicas e privadas britânicas, identificaram que a maioria das organizações empregavam um CMMS desenvolvido exclusivamente para a empresa (55,0%), enquanto outras utilizavam CMMS disponíveis comercialmente (29,0%). As demais organizações usavam distintas bases de dados (16,0%). Oliveira e Cardoso (2009) apresentam um estudo de customização de um CMMS para uma empresa do setor eletrônico, bem como para um instituto de pesquisa, que atenda aos requisitos solicitados pelos gestores das áreas de manutenção.

Com efeito, a adequada adoção de um sistema informático permite o setor de manutenção da organização planejar e organizar suas atividades, definir recursos, manter registos fiáveis e integrar as informações com os demais departamentos da organização.

Assim, de acordo com o referido acima, a classe “CMMS” e respetivos níveis são propostos e apresentados na figura 68 para integrar o modelo de maturidade.

Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5
• Não há registo eletrônico de dados da manutenção.	• Utilização de aplicações informáticas para a gestão da manutenção, não integradas com os demais sistemas informáticos da empresa.	• Sistema de planeamento e controlo da manutenção informatizado, com algumas funções não utilizadas, não integrado com os demais sistemas informáticos da empresa.	• CMMS onde nem todas as funções disponíveis são amplamente ou adequadamente utilizadas, não integrado com os demais sistemas informáticos da empresa.	• CMMS para apoio em todas as funções da gestão da manutenção, com elevado grau de automatização, cujas funções disponíveis são efetivamente utilizadas, integrado com os demais sistemas informáticos da empresa.

Figura 68 - Classe CMMS.

7.1.7 Gestão de Estoques

Conforme Pinto (2013), o êxito de um programa de manutenção está dependente da existência em estoque de peças de reserva e materiais para o desenvolvimento das atividades de manutenção e, torna-se mais crítico quando paragens não previstas estão associadas à atividade a desenvolver. Para o autor, a gestão das atividades e a gestão dos materiais estão intimamente relacionadas e, para uma ação eficiente na manutenção, deve-se assegurar a adequada gestão de materiais. No entanto, o autor observa que os gestores procuram a redução de custos com materiais, mas salienta que uma análise de risco (nível de serviço) deve ser realizada quando a estratégia é a de reduzir custos de estoques. Além disso, o autor salienta que a gestão de materiais em manutenção é uma atividade complexa, que recorre a técnicas variadas e deve procurar estabelecer equilíbrios entre possuir ou não determinados itens, não ficando restritos aos aspetos de custos, mas levando em conta a qualidade, segurança e proteção do ambiente e das pessoas.

Segundo Wireman (2010), o inventário e a equipa de compras tem um impacto maior sobre a produtividade da manutenção do que qualquer outro grupo de apoio, sustentando que parte do plano de trabalho para a manutenção consiste em detalhar todo o material necessário para realizar as atividades de manutenção, assegurando que estes se encontram em estoque e disponíveis antes do trabalho ser agendado.

Para Gulati (2009), os armazéns de manutenção desempenham um papel importante no apoio à função manutenção, com o objetivo de fornecer as peças de reposição e suprimentos certas, no momento certo e na quantidade certa. Se a peça

certa não está disponível quando necessário, as reparações terão que ser adiados. Todavia, qualquer atraso na restauração de um ativo com avaria irá aumentar os custos de manutenção e operações. Para o autor, para proporcionar o melhor suporte possível aos técnicos de manutenção, uma quantidade razoável de peças de reposição e materiais devem estar disponível em estoque. Considerando que em muitas instalações de fabrico e suporte o orçamento para peças de reposição pode ser uma percentagem significativa do orçamento total de manutenção, a gestão de inventário de peças de reposição, suprimentos e ferramentas é uma função muito importante na manutenção. No âmbito das estratégias de controlo de inventário o autor identifica o uso de CMMS para todo o processo de controlo e compra de itens, bem como a adoção da prática JIT (*Just-in-Time Inventory*), que é um método de gestão de inventário em que as pequenas remessas de estoque são entregues assim que eles são necessários, minimizando os níveis de estoque. A técnica JIT também foi aplicada por Pereira (2016) num projeto de melhoria das práticas de manutenção numa empresa portuguesa do segmento têxtil.

Asikainen (2013) propõe um modelo para avaliação do nível de maturidade aplicado a área de Compras envolvendo todos os processos da cadeia de suprimentos, desde a avaliação de fornecedores, competências técnicas das equipas da área de Compras da organização, critérios para desenvolvimento e seleção de fornecedores, abastecimento, subcontratação de atividades, negociação, requisitos regulamentários, métodos de previsão, gestão de estoque, políticas de controlo de estoque, classificação dos itens do estoque e indicadores de desempenho da área de compras. No âmbito da classificação dos itens de reposição, o modelo proposto pelo autor explora o estágio onde não há classificação dos itens do estoque evoluindo para o estágio onde os itens são classificados com base em características relevantes (criticidade, valor, logística). Relativamente aos métodos de previsão de demanda, o estágio elementar é aquele onde não há qualquer critério para prever a demanda futura de peças de reposição e o estágio de referência é aquele onde a demanda de peças de reposição é analisada a partir das combinações de métodos alinhados com as necessidades específicas dos distintos grupos de peças e são revistos regularmente. Com respeito à política de controlo de estoque, o autor propõe como estágio elementar aquele onde não há controlo de estoque e não se faz análise sistemática dos níveis de estoque. Como estágio de referência, a política de gestão de estoques é regularmente revista e atualizada com base no ciclo de vida do produto e com base em padrões de demanda.

González-Prida *et al.* (2014) sugere que a estratégia para aquisição de peças seja baseada na análise da fiabilidade, empregando modelos estatísticos para avaliar os parâmetros da distribuição, o comportamento da taxa de falhas e planejar as aquisições. O método considera os valores tomados pelos parâmetros de distribuição de confiabilidade, como o resultado de um processo de decisão multi-critério.

Com efeito, a gestão de estoques é um conjunto de atividades com o objetivo de garantir os níveis de estoque e seu controlo, a determinação das quantidades a se manter, planeamento de compras, bem como as ações de manutenção dos itens que estão em estoque, de maneira a garantir as necessidades da organização.

Assim, de acordo com o referido acima, a classe “Gestão de Estoques” e respetivos níveis são propostos e apresentados na figura 79 para integrar o modelo de maturidade.



Figura 69 - Classe Gestão de Estoques (Compras e Inventário).

7.1.8 Normalização e Controlo de Documentos

Segundo Pinto (2013), no contexto da manutenção *Lean*, a normalização não se deve limitar aos equipamentos e materiais, pois deve ser aplicada aos procedimentos de trabalho, tornando o trabalho mais fácil de ser planeado e controlado, tornando-se mais simples, previsível e eficiente. A normalização garante a uniformização e que todos façam os mesmos trabalhos da mesma forma, seja por pessoas ligadas à manutenção ou às operações. Além disso, garante a memória da empresa, pois preserva as informações, práticas e procedimentos caso ocorram mudanças nas equipas. De acordo com o autor, e tomando como exemplo os processos sob responsabilidade da área de gestão de estoques, a normalização possibilita: *simplificar a seleção de equipamentos, componentes e materiais; reduzir variedades, tipos e número de itens em estoque; eliminação de itens duplicados e desnecessários; melhoria na manutibilidade; redução de fornecedores, bem como dependência*

associada; intermutabilidade de peças; uniformização de procedimentos; redução de tempo e redução de erros.

Pinto (2014), numa abordagem relacionada com a filosofia *Lean Thinking*, identifica que uniformizar, normalizar ou estandardizar significa fazer todos do mesmo modo, seguindo a mesma sequência, as mesmas operações e as mesmas ferramentas., Uma vez que a uniformização dos processos envolve a documentação dos modos de operação, ela garante que todos sigam o mesmo procedimento, utilizam do mesmo modo os recursos disponíveis (ferramentas) e procedam da mesma forma quando confrontados com algum problema. A uniformização de processos, materiais e equipamentos permite que a empresa proceda à redução de desvios, de maneira a garantir a consistência das operações, produtos e serviços.

Segundo Cabral (2006), pode-se dizer que toda documentação existente num departamento de manutenção é documentação de qualidade, na medida em pode potencialmente contribuir para a qualidade. Entretanto, para ser útil, tem que estar organizada de forma utilizável para a equipa, e o conjunto de documentos inclui procedimentos, instruções de trabalho, documentação técnica, manuais de operação, listas de peças de equipamentos, normas técnicas, desenhos e registos de manutenção. Este conjunto de documentos tem que se manter organizado, referenciável e atualizado.

A padronização consiste na identificação da melhor forma de efetuar determinada tarefa ou processo e, para isso, devem ser elaboradas instruções de trabalho considerando as melhores formas de o executar (Thomaz, 2015). Com efeito, a necessidade de normalização é um fator fundamental para que as atividades de manutenção possam ser realizadas com êxito.

Assim, de acordo com o referido acima, a classe “Normalização e Controlo de Documentos” e respetivos níveis são propostos e apresentados na figura 70 para integrar o modelo de maturidade.

Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5
<ul style="list-style-type: none"> • Documentação dos equipamentos indisponível ou desatualizada. • Processos e atividades não normalizados. 	<ul style="list-style-type: none"> • Documentação de equipamentos e processos não organizada. • Alguns processos e atividades normalizados, mas não revistos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Documentação de equipamentos e de processos organizada. • A maioria dos processos e atividades normalizados, mas não revistos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Documentação de equipamentos e de processos organizada, de fácil e rápido acesso. • Processos e atividades normalizados e revistos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Documentação de equipamentos e de processos sistematicamente atualizada e de fácil e rápido acesso. • Processos e atividades normalizados e sistematicamente revistos.

Figura 70 - Classe Normalização e Controlo dos Documentos.

7.1.9 Gestão de Recursos Humanos

De acordo com Campbell e Reyes-Picknell (2006), a educação e formação de colaboradores é o ponto de partida para promover um ambiente de aprendizagem. Segundo os autores, uma boa educação e estratégia de formação inclui: um objetivo claro, uma revisão dos requisitos de formação, uma compreensão da cultura de trabalho única, um plano de implementação que aborde tanto a formação como a cultura de trabalho, um orçamento para os custos e as expectativas de que serão capturados os benefícios associados e um método para a avaliação contínua de modo a saber se os objetivos estão sendo alcançados. Os autores sustentam que o objetivo da educação é expandir o conhecimento de um tópico, permitindo que um indivíduo com pouca formação atravesse estágios de conscientização para a compreensão, de maneira a permitir que tome decisões corretas. Com efeito, o objetivo da formação é atualizar as habilidades de uma pessoa para que esta adquira proficiência em um determinado trabalho ou tarefa.

Para Gulati (2009), o desenvolvimento de pessoas dentro de uma organização deve ser visto como um investimento. A análise de tarefas de trabalho é a base de um programa de formação bem sucedido e, antes que os funcionários recebam formação, é necessário identificar o que eles precisam saber, de maneira a estabelecer um processo que determina detalhadamente as funções específicas e os requisitos para um determinado trabalho, bem como a importância relativa desses deveres. O currículo de formação deverá incluir o seguinte, mas não limitados a:

a) *Requisitos regulamentares e normas de segurança e saúde no trabalho;*

b) *Técnico:*

i) *Operação e manutenção de ativo ou sistema:* para fornecer uma compreensão básica de como um ativo ou sistema opera e como ele

- interage com os utilitários e outros ativos. Pode incluir necessidades mínimas de manutenção ou manutenção necessária pelo operador (manutenção autónoma);
- ii) *Técnicas de reparação específicas e tecnologia:* para fornecer novas técnicas de reparo ou de formação relacionados com uma nova tecnologia;
 - iii) *Ferramentas de gestão:* (RCM, FMEA, ferramentas 6-Sigma, etc.);
- c) Processos Organizacionais (as políticas da empresa, diversidade cultural, etc.).

Segundo Wireman (2005), sem bons programas de formação de qualidade, a área de manutenção da organização nunca será rentável (não será efetiva em custos). Para isso, o autor considera que as empresas devem avaliar constantemente a frequência pela qual os programas de formação são oferecidos para suas equipas técnicas, planeadores e supervisores.

Alsyouf (2009) identificou que 17% das empresas que participaram do estudo não investiam na educação e na formação do pessoal que trabalhava na manutenção. O autor acreditava que esta situação ocorria devido ao grande aporte de recursos gastos em atividades subcontratadas. Além disso percebeu que, nos demais casos, valores inferiores a 4% do orçamento da área de manutenção eram revertidos para atividades de educação e formação.

Conforme a análise de resultados desenvolvida no capítulo 6, identificou-se que 59% das organizações afirmam possuir um plano de formação para as equipas de manutenção, mas que não alcança a totalidade da equipa. Apenas 15% das empresas que afirmam possuir um plano de formação, este alcança cerca de 81-100% da equipa. No estudo realizado, o resultado do teste de hipótese H_{10} permitiu concluir que há uma relação de dependência entre a adoção de um plano de formação para as equipas de manutenção com a origem das empresas, onde 71,00% das empresas que possuem um plano de formação são de origem internacional.

Vários modelos de maturidade desenvolvidos para diversas áreas sustentam que a gestão dos recursos humanos da manutenção é uma classe fundamental e de relevância para que os resultados planeados sejam alcançados. Num estágio inicial de maturidade, a gestão de recursos humanos não está voltada para o alcance dos objetivos da organização: não há controlo das atividades; o perfil da liderança não está

suficientemente desenvolvido; as equipas estão descentralizadas e atuam conforme a ocorrência dos problemas; não há um plano formal para o desenvolvimento de competências dos membros da equipa de manutenção - ou, quando há, não atende às necessidades da área e não estão alinhados com os objetivos da organização -; a formação é pontual e motivada por problemas de grande impacto; os planos de formação não alcançam a totalidade da equipa em todos os níveis hierárquicos.

Num estágio de maturidade plena, a gestão de recursos humanos está voltada para o alcance dos objetivos da organização: o perfil de liderança está suficientemente desenvolvido; as equipas estão mais voltadas para atividades preventivas; polivalência das equipas de manutenção e produção consolidadas; plano de formação alinhado com as estratégias e objetivos da empresa, com alcance a todos os membros da equipa, e que são revisados continuamente para atender as necessidades de evolução tecnológica de equipamentos e processos; manutenção autónoma implementada e há planos de reconhecimento (Bessant *et al.*, 2001; Campbell & Reyes-Picknell, 2006; Cholasuke *et al.*, 2004; Hackos, 2004; ISO 9004:2010; Silveira, 2009; Wireman, 1992).

Assim, de acordo com o referido acima, a classe “Gestão de Recursos Humanos” e respetivos níveis são propostos e apresentados na figura 71 para integrar o modelo de maturidade.

Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5
<ul style="list-style-type: none"> • Formação pontual motivado por problemas de grande impacto. • Colaboradores possuem baixa competência. 	<ul style="list-style-type: none"> • Plano de desenvolvimento de competências dos colaboradores de manutenção não-alinhado com as necessidades da área. 	<ul style="list-style-type: none"> • Plano de desenvolvimento de competências alinhado com as necessidades da área. 	<ul style="list-style-type: none"> • Plano de desenvolvimento de competências alinhado com as necessidades da área. • Colaboradores polivalentes, com envolvimento dos colaboradores da produção em certas atividades. 	<ul style="list-style-type: none"> • Plano de desenvolvimento de competências alinhado com os objetivos da área. • Colaboradores da manutenção polivalentes e envolvidos em atividades de melhoria. • Envolvimento dos colaboradores da produção em certas atividades. • Planos de reconhecimento e recompensa.

Figura 71 - Classe Gestão de Recursos Humanos.

7.1.10 Gestão de Resultados (Custos e Qualidade da Manutenção)

Conforme Amaral (2016), conhecer os custos associados à atividade de manutenção é fundamental para se poder avaliar o seu desempenho e seu contributo

para a empresa, e a gestão de custos envolve tarefas relacionadas com o planeamento, a orçamentação e o controlo.

Relativamente a custos, embora o conceito geral é de que a manutenção é considerada como uma fonte geradora de custos, o autor destaca que a importância da manutenção está associada à sua contribuição decisiva para a qualidade do produto final e para o sucesso competitivo das empresas. Para tal, realça que os investimentos em manutenção têm um retorno significativo, uma vez que a atividade de manutenção compensa os seus custos através do lucro conseguido, ou seja, por meio da melhoria da qualidade do produto final, no aumento da disponibilidade operacional dos equipamentos, aumento do ciclo de vida dos equipamentos e instalações, garantia da qualidade do equipamento, dentre outras.

Para Gulati (2009), todo o trabalho de manutenção envolve algum risco, ou seja, possui potencial para induzir defeitos de vários tipos ao executar as tarefas de manutenção. Em outras palavras, os erros humanos efetuados durante as tarefas de manutenção, eventualmente, pode levar a falhas adicionais do activo em que a manutenção foi realizada.

Um programa de manutenção de qualidade requer pessoal de manutenção treinados e motivados. Conforme o autor, para criar alta qualidade e pessoal motivado, são sugeridas as seguintes medidas: proporcionar formação em melhores práticas e procedimentos de manutenção para manutenção em ativos específicos; fornecer ferramentas apropriadas para executar as tarefas de forma eficaz; envolver a equipa no uso de metodologias de análise e prevenção de falhas, e no desenvolvimento de procedimentos de manutenção; acompanhamento para assegurar um desempenho de qualidade e para mostrar a todos que a gestão se importa com um trabalho de qualidade; e divulgar custos reduzidos em função da melhoria do tempo de atividade, como resultado de práticas de manutenção eficazes.

Cholasuke *et al.* (2004), Campbell e Reyes-Picknell (2006), definem como estágio de inocência, no âmbito da gestão financeira da manutenção, as empresas que não possuem informação e conhecimento sobre os custos da área de manutenção, bem como os problemas relacionados com as perdas de produção devido à má qualidade dos serviços de manutenção. Num estágio elementar, os custos são elevados, sem controlo e, comumente, calculado e divulgado apenas para aqueles relacionados com peças, material de consumo e mão-de-obra.

Quanto à qualidade das atividades da manutenção, é vista como deficiente, com nível de perdas e rejeições elevadas e sem controlo, existência de retrabalho e desperdício de material, elevada reincidência de falhas, elevado tempo de recuperação, bem como impacto na produtividade. Como estágio de excelência, a recolha, tratamento das informações e utilização de técnicas adequadas, permitem o reconhecimento dos custos da manutenção, bem como ações de melhoria para minimizar os efeitos das perdas produtivas.

Num estágio de referência, relativamente aos custos, há um controle total e equilibrado, com foco no equilíbrio dos custos e na manutenção dos investimentos na área de manutenção, além da aplicação de conceitos LCC (*Life Cycle Cost*). Relativamente à qualidade das atividades da manutenção, as melhorias decorrem devido a implementação sistemática de programas de melhoria contínua, que resultam na redução/eliminação do nível de perdas, rejeitos, retrabalho, desperdício de material, da reincidência de falhas, bem como do tempo de recuperação, resultando num baixo impacto na produtividade.

Weinstein *et al.* (2007) estabelece paralelos com algumas metodologias e técnicas usadas na gestão da qualidade, de maneira a demonstrar que elas se complementam, e podem impulsionar o bom desempenho de ambas as áreas da empresa. Com efeito, a combinação das estratégias de otimização dos custos da qualidade (COQ) e custos de manutenção (COM) fornecem uma base valiosa para se melhorar a eficácia da função de manutenção. Para os autores, os conceitos de gestão *just-in-time* e lean manufacturing baseiam-se na eliminação de resíduos e atividades sem valor agregado em todos os processos, e a manutenção é essencial para a implementação bem-sucedida destes conceitos.

Assim, de acordo com o referido acima, a classe “Gestão de Resultados” e respetivos níveis são propostos e apresentados na figura 72 para integrar o modelo de maturidade.

Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5
<ul style="list-style-type: none"> • Custo elevado e sem controlo; • Percepção de desperdício de material elevado e de alta reincidência de falhas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ações empreendidas para quantificação de custos, identificação de perdas e falhas reincidentes. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ações empreendidas esporadicamente para redução de custos, de perdas e de falhas reincidentes. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ações empreendidas para redução de custos, de perdas e de falhas reincidentes. 	<ul style="list-style-type: none"> • Custos controlados, baixo nível de perdas e baixa reincidência de falhas.

Figura 72 - Classe Gestão de Resultados (Custos e Qualidade da Manutenção).

7.2 O Modelo

As etapas de transição entre os níveis propostos no modelo de maturidade final, contendo a descrição de cada nível e os elementos de identificação para o estágio seguinte, são apresentadas na tabela 46.

Tabela 46 - Proposta de modelo de maturidade para gestão da manutenção.

Classes de Medidas	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5
Cultura Organizacional	Mudanças não são bem aceites. Não existe orientação para melhoria contínua e para o trabalho em equipa.	Mudanças são aceites com relutância. Identificada a necessidade de ações para melhoria contínua, mas ainda não adotadas. Limitado trabalho em equipa. Falta espírito de equipa.	Mudanças são aceites e consideradas importantes. Implementação de ações para melhoria contínua. Trabalho em Equipa. Falta espírito de equipa.	Mudanças são aceites e consideradas importantes. Ações para melhoria contínua com metodologias definidas. Trabalho em Equipa. Espírito de equipa.	Existe comprometimento com a mudança, adaptando-se às novas prioridades estratégicas. Ações para melhoria contínua com metodologias definidas e enraizadas. Trabalho em Equipa. Espírito de equipa.
Política de Manutenção	Manutenção é considerada um mal necessário, estando voltada para a resolução de avarias no menor tempo possível.	Manutenção é considerada um mal necessário, mas reconhece-se a necessidade em atuar de forma preventiva.	Manutenção é considerada importante para atingir os objetivos da organização. Atuação da manutenção de forma preventiva com vista ao aumento de produtividade e redução de custos.	Manutenção é considerada importante para atingir os objetivos da organização. Atuação da manutenção de forma proactiva (incluindo melhoria do equipamento) com vista ao aumento da produtividade, redução de custos e melhoria da qualidade.	Manutenção é considerada uma função estratégica. Atuação da manutenção de forma proactiva (incluindo melhoria do equipamento) e eficiente com vista ao aumento de produtividade, redução de custos, melhoria da qualidade e redução de acidentes e impacto ambiental.
Gestão de Desempenho	Não existem indicadores definidos.	Indicadores de desempenho calculados esporadicamente, com incidência nos indicadores técnicos determinados para toda a produção ou/e ao nível da linha de produção.	Indicadores de desempenho calculados periodicamente, com incidência nos indicadores técnicos e económicos, determinados para toda a produção, ao nível da linha e do equipamento.	Indicadores técnicos, económicos e organizacionais fiáveis calculados e analisados periodicamente, apoiando a tomada de decisão dando origem esporadicamente a projetos de melhoria.	Indicadores técnicos, económicos e organizacionais fiáveis e alinhados com os objetivos estratégicos da organização, calculados e analisados periodicamente, apoiando a tomada de decisão e dando origem a projetos de melhoria.

Tabela 46 (continuação) - Proposta de modelo de maturidade para gestão da manutenção.

Classes de Medidas	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5
Análise de Falhas	Análise de falhas sem método definido, realizada quando ocorrem falhas com impacto significativo.	Análise de falhas sem método definido, realizada esporadicamente e quando ocorrem falhas com impacto significativo.	Análise de falhas periódica, baseada num método definido.	Identificação de equipamentos críticos e falhas críticas de forma esporádica e implementação de medidas baseada na análise metódica de falhas que origina uma baixa reincidência de falhas.	Informação atualizada de equipamentos críticos e falhas críticas, e implementação de medidas baseadas na análise metódica de falhas, que origina a ausência de reincidência de falhas.
Planeamento e Programação das Atividades de Manutenção Preventiva	Atividades preventivas definidas depois da ocorrência de eventos críticos.	Planeamento realizado com base nos manuais do fabricante abrangendo alguns equipamentos. Atrasos e ações programadas não concluídas.	Planeamento realizado com base nos manuais do fabricante abrangendo todos os equipamentos. Atrasos e ações programadas não concluídas.	Planeamento das atividades revisto em função da taxa de falhas e da monitorização do equipamento. Desvios pontuais no cumprimento dos planos.	Planeamento das atividades revisto em função da taxa de falhas e da monitorização do equipamento. Programação definida em função da produção planeada.
CMMS	Não há registo eletrónico de dados da manutenção.	Utilização de aplicações informáticas para a gestão da manutenção, não integradas com os demais sistemas informáticos da empresa.	Sistema de planeamento e controlo da manutenção informatizado, com algumas funções não utilizadas, não integrado com os demais sistemas informáticos da empresa.	CMMS onde nem todas as funções disponíveis são amplamente ou adequadamente utilizadas, não integrado com os demais sistemas informáticos da empresa.	CMMS para apoio em todas as funções da gestão da manutenção, com elevado grau de automatização, cujas funções disponíveis são efetivamente utilizadas, integrado com os demais sistemas informáticos da empresa.
Gestão de Estoques (Compras e Inventário)	Não há previsão de demanda futura de peças de reposição.	Demandas de peças e materiais previstas com base no histórico de consumo.	Compra de peças e materiais para atividades preventivas realizada em função das ações planeadas e, para as atividades corretivas, baseada no histórico de consumo.	Compra de peças e materiais para atividades preventivas realizada em função das ações planeadas e, para as atividades corretivas, baseada na fiabilidade e custos.	Compra de peças e materiais para atividades preventivas realizada em função das ações planeadas e, para as atividades corretivas, baseada na fiabilidade, custos e criticidade.

Tabela 46 (continuação) - Proposta de modelo de maturidade para gestão da manutenção.

Classes de Medidas	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5
Normalização e Controlo dos Documentos	Documentação dos equipamentos indisponível ou desatualizada. Processos e atividades não normalizados.	Documentação de equipamentos e processos não organizada. Alguns processos e atividades normalizados, mas não revistos.	Documentação de equipamentos e de processos organizada. A maioria dos processos e atividades normalizados, mas não revistos.	Documentação de equipamentos e de processos organizada, de fácil e rápido acesso. Processos e atividades normalizados e revistos.	Documentação de equipamentos e de processos sistematicamente atualizada e de fácil e rápido acesso. Processos e atividades normalizados e sistematicamente revistos.
Gestão de Recursos Humanos	Formação pontual motivado por problemas de grande impacto. Colaboradores possuem baixa competência.	Plano de desenvolvimento de competências dos colaboradores de manutenção não alinhado com as necessidades da área.	Plano de desenvolvimento de competências alinhado com as necessidades da área. Colaboradores polivalentes, com envolvimento dos colaboradores da produção em certas atividades.	Plano de desenvolvimento de competências alinhado com as necessidades da área. Colaboradores polivalentes, com envolvimento dos colaboradores da produção em certas atividades.	Plano de desenvolvimento de competências alinhado com os objetivos da área. Colaboradores da manutenção polivalentes e envolvidos em atividades de melhoria. Envolvimento dos colaboradores da produção em certas atividades. Planos de reconhecimento e recompensa.
Gestão de Resultados (Custos e Qualidade da Manutenção)	Custo elevado e sem controlo. Perceção de desperdício de material elevado e de alta reincidência de falhas.	Ações empreendidas para quantificação de custos, identificação de perdas e falhas reincidentes.	Ações empreendidas esporadicamente para redução de custos, de perdas e de falhas reincidentes.	Ações empreendidas para redução de custos, de perdas e de falhas reincidentes.	Custos controlados, baixo nível de perdas e baixa reincidência de falhas.

8. CASOS DE ESTUDO

O presente capítulo apresenta dois casos de estudo realizados em distintas empresas de modo a identificar o estado da manutenção e contribuir para o aperfeiçoamento e validação do sistema de gestão da manutenção, por meio do uso do modelo de maturidade desenvolvido para esta finalidade.

O primeiro caso de estudo foi realizado numa empresa do setor têxtil situada na cidade de Guimarães, em Portugal. O segundo caso de estudo foi realizado numa empresa do setor eletroeletrónico situada no polo industrial da cidade de Manaus, no estado do Amazonas, Brasil.

O modelo foi aplicado em consonância com o momento atual da área de manutenção das empresas. Contudo, atividades de melhoria estão sendo estudadas e viabilizadas, de maneira que uma previsão do estado futuro foi realizada para estabelecer comparações entre o estado atual e o estado futuro da área de manutenção destas empresas, com base no modelo de maturidade proposto.

8.1 Caso de estudo realizado numa empresa do setor têxtil

As informações relativamente à gestão da manutenção da empresa foram obtidas a partir da consulta da dissertação de mestrado do gestor da manutenção (Pereira, 2016) que teve como objetivo identificar as forças e fraquezas das atuais práticas de manutenção, bem como através de uma entrevista com o próprio autor e gestor da área da manutenção da empresa.

A área de manutenção auxilia os setores de produção da empresa, nomeadamente a tecelagem e acabamento de confeção, mantendo pessoal fixo para a realização de atividades corretivas e pessoal direcionado para as atividades de manutenção preventiva. A equipa conta com cinquenta e seis colaboradores, incluindo gestores e técnicos especializados e é orientada para uma atuação rápida e conforme as necessidades da área de produção, estando organizada segundo as vertentes elétrica, mecânica geral, fluídos, mecânica tecelagem, mecânica confeção e recurso energéticos.

A estratégia de manutenção da empresa baseia-se na manutenção preventiva sistemática e o planeamento das atividades é feito tendo em conta o que é estipulado pelos fabricantes dos equipamentos (seja através de indicações contidas nos manuais ou indicações do próprio fornecedor). A área possui um plano de manutenção

preventiva baseado essencialmente no tempo de calendário, com actividades com periodicidades diária, semanal, trimestral, semestral e anual, sendo que a programação de algumas atividades se efetua com base nas horas de funcionamento dos equipamentos. Além disso, algumas atividades de manutenção condicionada são realizadas.

Como parte dos esforços para o controlo das atividades de manutenção, a empresa dispõe de um programa de gestão de manutenção com o objetivo de planear, programar e gerir a manutenção. Além disso, possui um sistema SCADA para a monitorização de parâmetros do processo produtivo, permitindo aos operadores uma atuação rápida a perturbações no processo.

A empresa não adota na sua totalidade a metodologia de apoio à gestão da manutenção, o TPM (*Total Productive Maintenance*). Contudo, reconhece-se o uso de alguns pilares, nomeadamente os pilares de manutenção planeada, gestão inicial do equipamento e ambiente/segurança, mas não estão totalmente implementados. Ações para a utilização sistemática do programa 5S nas áreas de manutenção e ambiente produtivo foram realizadas e há planos para estender aos demais departamentos, bem como para a consolidação, num prazo mais dilatado, de todos os pilares do TPM. O RCM (*Reliability Centered Maintenance*) também é apontado como uma metodologia a adotar no futuro para a melhoria das atividades de manutenção.

A partir do levantamento realizado pelo gestor da área de manutenção da empresa no âmbito da sua dissertação de Mestrado, foi possível construir a tabela 47 onde se apresenta de forma resumida os problemas enfrentados pela área de manutenção.

Tabela 47 - Problemas identificados na empresa do setor têxtil.

Caso de estudo na empresa do setor Têxtil	
Item	Problema
1	Devido à comunicação de avarias via telefone móvel têm ocorrido situações em que não são efetuados os respetivos pedidos no sistema informático.
2	Situações detetadas pelos operadores com impacto direto na produção não são sempre comunicadas com a brevidade desejável.
3	Operações mais demoradas devido à desarrumação.
4	Nem todos os trabalhadores das oficinas estão envolvidos com o programa 5S.
5	Os 5S não estão a ser mantidos conforme era esperado.
6	Difícil parametrização do CMMS existente.
7	A utilização pelas oficinas do CMMS existente não é prática e é demorada, uma vez que o Sistema de Gestão de Manutenção é tecnologicamente ultrapassado e de difícil utilização.
8	O pedido de intervenções corretivas é demorado e não é permitido tipificar avarias.
9	O reporte das intervenções efetuadas consome demasiado tempo e não permite com facilidade verificar a execução dos serviços.

Tabela 47 (continuação) - Problemas identificados na empresa do setor têxtil.

Caso de estudo empresa setor têxtil	
Item	Problema
10	Não existe medição de desempenho da área da Manutenção, não sendo possível estabelecer objetivos concretos.
11	Sistema SCADA não está a ser utilizado por todas as Oficinas, sendo apenas utilizado pela Oficina de Recursos Energéticos, oficina responsável pela operação das unidades auxiliares de Produção.
12	Não utilização do sistema SCADA pelos responsáveis das unidades fabris.
13	Verificou-se que ocorrem muitas situações em que não existe informação ao cliente (Produção) do estado da intervenção em curso.
14	Ocorrem avarias cuja recorrência é elevada.
15	A prioridade da atuação em caso de avaria não está definida pela produção, ficando neste caso ao critério dos técnicos de manutenção avaliar o grau de urgência na reparação do equipamento.
16	Não coordenação da execução das intervenções de Manutenção Preventiva entre as várias oficinas envolvidas.
17	Atrasos na finalização dos serviços de Manutenção Preventiva devido à não alocação de técnicos de acordo com o planeamento semanal existente, originando o acumular de serviços nas várias oficinas.
18	A execução do Plano de Manutenção Preventiva está apenas reportado em documentos em papel não sendo fácil o rastreamento e verificação do grau de execução.
19	Manutenção Preditiva não está sistematizada e enraizada no Departamento de Manutenção.
20	As ações corretivas mencionadas nos relatórios de Manutenção Preditiva não são efetivadas num intervalo de tempo desejável.
21	Demasiado tempo na reparação de algumas avarias.
22	Apesar de existirem algumas práticas em uso, o grau de implementação do TPM é bastante reduzido na globalidade.
23	Não existe uma avaliação sistemática das avarias que ocorrem na empresa.
24	Não são utilizadas ferramentas que permitem uma avaliação estruturada das avarias.
25	Os equipamentos não estão avaliados quanto à sua função e as avarias que podem surgir.
26	As peças de reserva a manter nas oficinas não estão a ser validadas pela equipa de manutenção.
27	Condicionamento das peças de reserva nas Oficinas não é o mais adequado.
28	Peças de reserva reparadas não estão devidamente inventariadas.

Com o objetivo de realizar a recolha da informação necessária para a aplicação do modelo, para além da consulta da referida dissertação de Mestrado, realizou-se uma entrevista ao gestor da área de manutenção com o intuito de aprofundar os itens abordados pelo modelo. Com efeito, tendo em conta as classes propostas no modelo, algumas considerações são feitas a seguir relativas à organização e gestão da área de manutenção da empresa:

- 1. Cultura organizacional:** existe incentivo à melhoria contínua, mas uma certa relutância a mudanças. A transmissão da estratégia da organização para as equipas é feita por etapas, ocorrendo primeiramente entre níveis hierárquicos mais elevados que, por sua vez, desdobram as estratégias para as respetivas equipas. No entanto, algumas ações não estão consolidadas. A empresa reconhece que existe trabalho em equipa, mas que não existe espírito de equipa.

- 2. Política de manutenção:** não há uma política definida. A manutenção é vista como estratégica pela organização, no entanto, verifica-se que as ações implementadas e a implementar são fruto da iniciativa individual do gestor da área e existe um elevado potencial de melhoria na sua atuação, para alcançar níveis elevados de desempenho.
- 3. Gestão de Desempenho (adoção de indicador de desempenho - KPI):** a área da manutenção não adota indicadores de desempenho. A implementação de indicadores está prevista no futuro, associada à aquisição de um novo sistema informático para a área (CMMS – *Computerized Maintenance Management System*).
- 4. Análise de Falhas (adoção de metodologias/ferramentas para análise de falhas):** é realizada a análise de avarias quando ocorrem eventos críticos.
- 5. Planeamento e Programação das Atividades de Manutenção Preventiva (planeamento, programação e execução das atividades de manutenção):** há um plano de manutenção preventiva global com distintas periodicidades. A área de manutenção convive com ações corretivas e preventivas, sendo que há um esforço para aumentar o nível de ações voltadas para a manutenção preditiva, a partir da monitorização de alguns parâmetros de processo (inicialmente implementado numa linha piloto e num equipamento estratégico). Os planos são elaborados num impresso próprio que não é compartilhado com a área de produção. O planeamento e execução são feitos com base na disponibilidade dos equipamentos, estando associado à conclusão dos respetivos planos produção, sendo normalmente executados durante a semana, com algumas ações realizadas durante os fins de semana.
- 6. CMMS:** a empresa dispõe de um software para auxiliar a gestão da manutenção que é considerado obsoleto e que não atende às atuais necessidades da área. O sistema possui funções que é comum encontrar nos CMMS, possuindo módulos para registo de equipamentos, materiais, intervenções, planeamento, recursos humanos, para consulta do histórico de intervenções realizadas e organização da documentação. No entanto, é considerado limitado e de difícil utilização por parte de planeadores, técnicos e equipa de produção. A empresa possui um sistema SCADA para monitorização de parâmetros do processo, sistema esse também considerado ultrapassado. Além disso, não há integração entre o sistema SCADA, o CMMS e o Sistema de Controlo de Produção. Há ações no sentido de

adotar um novo CMMS, modernizar o sistema SCADA e promover a integração de ambos, de modo a facilitar e permitir a utilização por parte de todos os envolvidos.

7. **Gestão de Estoques (Compras e Inventário):** a nível geral há um controlo de estoque estabelecido, sendo os consumíveis adquiridos com base no histórico de consumo e as peças para atividades corretivas adquiridas conforme a avaliação crítica da área de manutenção e da gestão técnica. Além disso foi identificada a existência de estoques paralelos em cada área de manutenção, com a justificativa de atender mais rapidamente às demandas corretivas. Identificou-se que as respetivas áreas de manutenção possuíam um inadequado armazenamento das peças, falta de controlo do inventário existente e falta de identificação do estado das peças (boa, reparada ou com falha irreparável).
8. **Normalização e Controlo de Documentos:** poucas instruções definidas.
9. **Gestão de Recursos Humanos:** a formação da equipa é considerada pontual e com base na necessidade de cada área e não é verificada a eficácia das ações realizadas. A empresa não possui um sistema de incentivos, mas planeia definir e implementar um no futuro. Existe uma matriz para registo de competências que envolve apenas os níveis superiores.
10. **Gestão de Resultados (Custos e Qualidade):** entende-se que o custo de manutenção é baixo, mas não há um controlo efetivo e dados que comprovem esta informação, uma vez que o controlo é feito apenas relativamente ao consumo de energia, não havendo uma estratificação dos custos de manutenção. No entanto, ações nesse sentido estão sendo implementadas. Relativamente à qualidade das atividades de manutenção, há reincidência de falhas, no entanto, as perdas decorrentes das avarias não são consideradas elevadas.

Com base nesse diagnóstico, a tabela 48 apresenta o enquadramento da empresa segundo os níveis de maturidade desenvolvidos no modelo para cada uma das classes relativamente ao estado atual em que se encontra a área de manutenção.

Tabela 48 - Modelo de Maturidade: Estado atual da empresa do setor têxtil.

Classes de Medidas	Nível Atual	Status atual
Cultura Organizacional	2	Mudanças são aceites com relutância; Identificada a necessidade de ações para melhoria contínua, mas ainda não adotadas; Limitado trabalho em equipa. Falta espírito de equipa.
Política de Manutenção	2	Manutenção é considerada um mal necessário, mas reconhece-se a necessidade em atuar de forma preventiva.
Gestão de Desempenho	1	Não existem indicadores definidos.
Análise de Falhas	1	Análise de falhas sem método definido, realizada quando ocorrem falhas com impacto significativo.
Planeamento e Programação das Atividades de Manutenção Preventiva	3	Planeamento realizado com base nos manuais do fabricante abrangendo todos os equipamentos; Atrasos e ações programadas não concluídas.
CMMS	2	Utilização de aplicações informáticas para a gestão da manutenção, não integradas com os demais sistemas informáticos da empresa.
Gestão de Estoques (Compras e Inventário)	2	Demandas de peças e materiais previstas com base no histórico de consumo.
Normalização e Controlo dos Documentos	1	Documentação dos equipamentos indisponível ou desatualizada; Processos e atividades não normalizados.
Gestão de Recursos Humanos	1	Formação pontual motivada por problemas de grande impacto; Colaboradores possuem baixa competência.
Gestão de Resultados (Custos e Qualidade da Manutenção)	1	Custo elevado e sem controlo. Percepção de desperdício de material elevado e de alta reincidência de falhas.

Com o intuito de promover ações de melhoria na área de manutenção da empresa e melhorar o seu desempenho, tendo como base a avaliação realizada pelo gestor da área de manutenção, a tabela 49 detalha as soluções propostas, e que serão implementadas em distintas fases.

Tabela 49 - Soluções propostas para a empresa do setor têxtil.

Caso de estudo na empresa do setor Têxtil	
Número (S)	Solução proposta
1	Reforçar a Manutenção Preditiva.
2	Focalizar as intervenções do Departamento de Manutenção na Satisfação do seu Cliente - a Produção da Empresa.
3	Reforçar a implementação dos Cinco S (5S).
4	Aquisição de novo programa de Gestão da Manutenção (CMMS).
5	Interligação entre o SCADA, o CMMS e o Sistema Controlo Produção.
6	Introduzir a utilização das ferramentas FMEA, FTA, RCFA e RCM.
7	Prosseguir com a implementação da TPM.
8	Melhorar a disponibilidade das peças de reserva para o JIT (<i>Just in Time</i>).

Relativamente à classe denominada Cultura Organizacional, embora não se reúnam evidências diretas nas ações propostas que justifique a evolução nesta classe, o conjunto das ações aponta para uma mudança de postura da organização face às necessidades da área de manutenção, permitindo-nos reavaliar esta classe com base

nas ações administrativas, que serão desdobradas de forma adequada para a equipa de manutenção da organização.

Com base nas ações previstas, a tabela 50 apresenta o enquadramento da empresa segundo os níveis de maturidade desenvolvidos no modelo para cada uma das classes relativamente ao estado futuro, caso todas as ações sejam efetivamente implementadas com êxito.

Tabela 50 - Modelo de Maturidade: Estado futuro da empresa do setor têxtil.

Classes de Medidas	Nível futuro	Status futuro
Cultura Organizacional	4	Mudanças são aceitas e consideradas importantes; Ações para melhoria contínua com metodologias definidas; Trabalho em Equipa; Espírito de equipa.
Política de Manutenção	3	Manutenção é considerada importante para atingir os objetivos da organização; Atuação da manutenção de forma preventiva com vista ao aumento de produtividade e redução de custos.
Gestão de Desempenho	3	Indicadores de desempenho calculados periodicamente, com incidência nos indicadores técnicos e económicos, determinados para toda a produção, ao nível da linha e do equipamento.
Análise de Falhas	3	Análise de falhas periódica, baseada num método definido.
Planeamento e Programação das Atividades de Manutenção Preventiva	4	Planeamento das atividades revisto em função da taxa de falhas e da monitorização do equipamento; Desvios pontuais no cumprimento dos planos.
CMMS	5	CMMS para apoio em todas as funções da gestão da manutenção, com elevado grau de automatização, cujas funções disponíveis são efetivamente utilizadas, integrado com os demais sistemas informáticos da empresa.
Gestão de Estoques (Compras e Inventário)	2	Demandas de peças e materiais previstas com base no histórico de consumo.
Normalização e Controlo dos Documentos	3	Documentação de equipamentos e de processos organizada. A maioria dos processos e atividades normalizada, mas não revista.
Gestão de Recursos Humanos	3	Plano de desenvolvimento de competências alinhado com as necessidades da área.
Gestão de Resultados (Custos e Qualidade da Manutenção)	3	Ações empreendidas esporadicamente para redução de custos, de perdas e de falhas reincidentes.

Com efeito, uma comparação entre o estado atual e o estado futuro é apresentado na figura 73, de modo a distinguir as classes e o grau de evolução na escala do modelo de maturidade, cabendo à gestão da organização aprofundar os estudos e propor novas ações de melhoria, com o objetivo de alcançar os estados superiores estabelecidos pelo modelo.

Modelo de Maturidade: Empresa setor têxtil

—●— Nível Atual —●— Nível Proposto



Figura 73 - Indústria setor têxtil: Nível de Maturidade.

8.2 Caso de estudo realizado numa empresa do setor eletroeletrónico

As informações relativas à gestão da manutenção da empresa foram obtidas a partir da consulta da dissertação de graduação do técnico de manutenção (Filho, 2016) que teve como objetivo identificar as forças e fraquezas das atuais práticas de manutenção, bem como através de uma entrevista com o próprio autor, bem como com o gestor da área da manutenção da empresa.

A equipa de manutenção da empresa está estruturada para atender aos setores de engenharia de fábrica, engenharia de testes, tecnologia da informação e *machine* suporte (suporte aos equipamentos), onde cada um destes setores possui os seus respetivos gestores, mantendo equipas fixas para atuação em atividades corretivas, preditivas e preventivas. As equipas contam com cinco técnicos de manutenção de máquinas SMD (*Surface Mounting Device* - dispositivos montados em superfície), oito técnicos de engenharia de teste, seis técnicos de engenharia de fábrica, onde cada área possui um engenheiro e um gestor específico. A empresa tem por objetivo que o tempo de paragem para atividades de manutenção corretiva não seja superior a 2% do tempo total de produção, e a equipa é orientada para uma atuação rápida e conforme as necessidades da área de produção.

A estratégia de manutenção da empresa é baseada na manutenção preventiva sistemática, e o planeamento das atividades é feito com base no que é estipulado pelos fabricantes dos equipamentos (seja com referência às indicações contidas nos manuais ou indicações do próprio fornecedor).

Com base nesses dados do fabricante e na experiência empírica, são geradas Ordens de Serviço para manutenção de cada equipamento. As áreas possuem um plano de manutenção preventiva baseada no tempo, com periodicidades semanal, trimestral, semestral e anual.

Com respeito à adoção de metodologias de apoio à gestão da manutenção, ações para o emprego sistemático do 5S nas áreas de manutenção e ambiente produtivo foram tomadas e há planos para estender aos demais departamentos. Não se adota o TPM, mas há emprego de atividades autónomas para algumas atividades.

Com base na avaliação própria realizada pelo autor do estudo na área de manutenção da empresa, a tabela 51 detalha os problemas enfrentados pela área de manutenção.

Tabela 51 - Problemas identificados na empresa do setor eletroeletrónico.

Caso de estudo na empresa do setor eletroeletrónico	
Item	Problema
1	Não há registo dos dados de falhas para a maioria dos equipamentos das linhas de produção e dados escassos para alguns equipamentos.
2	Não há dados disponíveis para análise das falhas.
3	Falta de ferramenta de acompanhamento do índice de unidades boas que são rejeitadas (falsas falhas).
4	Não há ações de melhoria dos índices de falhas falhas, que são responsáveis por retrabalhos e perdas de produtividade.
5	Não há dados confiáveis para determinação de indicadores de desempenho.
6	Não é possível estabelecer objetivos concretos.
7	Equipas de manutenção descentralizadas e sem coordenação.
8	Não há adoção de CMMS, e os registos de manutenção preventiva e corretiva são feitos de forma manual.
9	Registos das informações são feitos de forma manual e não há controlo, resultando em dados não fiáveis e de difícil acesso.
10	O reporte das intervenções efetuadas consome demasiado tempo e não permite com facilidade verificar a execução dos serviços.
11	A execução do Plano de Manutenção Preventiva está apenas reportado em documentos em papel não sendo fácil o seu rastreamento e verificação do grau de execução.
12	Ocorrem demasiadas intervenções de Manutenção Corretiva, reduzindo a fiabilidade dos equipamentos.
13	Ocorrem avarias cuja recorrência é elevada obrigando à sistemática reparação do equipamento com a penalização na fiabilidade e não disponibilidade para a produção.
14	Demasiado tempo na execução de algumas avarias, segundo a percepção da área de produção.
15	Não são utilizadas ferramentas que permitem uma avaliação sistemática das avarias que ocorrem na empresa.
16	Os 5S não estão a ser mantidos conforme era esperado.

Com objetivo de realizar a coleta de informações necessária para a aplicação do modelo, realizou-se uma entrevista com o gestor da área de manutenção com o intuito de aprofundar os itens abordados pelo modelo, uma vez que não foi possível obter as informações complementares na dissertação (Filho, 2016). Com efeito, com base nas classes propostas no modelo, algumas considerações foram desenvolvidas a seguir com respeito à organização do setor de manutenção da empresa:

- 1. Cultura Organizacional:** as mudanças são aceitas com relutância e as ações de melhoria contínua são limitadas. Pouco trabalho em equipa.
- 2. Política de Manutenção:** não há uma política definida, mas a área é percebida como um mal necessário para a empresa.
- 3. Gestão de Desempenho (adoção de indicador de desempenho - KPI):** o único indicador de desempenho adotado pela área de manutenção é o *downtime*. Há um software global, chamado PRT, que monitora o desempenho de produtividade, bem como o *downtime*, produtividade e outras métricas relacionadas com a produção.
- 4. Análise de Falhas (adoção de metodologias/ferramentas para análise de falhas):** é realizada a análise de avarias quando ocorrem eventos críticos.

- 5. Planeamento e Programação das Atividades de Manutenção Preventiva (planeamento, programação e execução das atividades de manutenção):** há um plano de manutenção preventiva sistemático global com distintas periodicidades e que obedece ao plano de produção. Naturalmente, a área convive com ações corretivas e preventivas, sendo que a empresa pretende implementar no futuro ações voltadas para a manutenção preditiva. Os planos de intervenções são elaborados em impresso próprio e não são compartilhados com as áreas envolvidas. O plano de atividades encontra-se numa folha de Excel previamente preenchida com base nos dados fornecidos pelo fabricante e experiências do dia-a-dia.
- 6. CMMS (adoção de sistema informático):** a empresa não dispõe de nenhum software para auxiliar a gestão da manutenção.
- 7. Gestão de Estoques (Compras e Inventário):** a nível geral há um controlo de estoque estabelecido, sendo os consumíveis e peças para atividades corretivas adquiridas com base na média de histórico de consumo. Além disso foi identificada a existência de estoques paralelos na área de manutenção, com a justificativa de atender mais rapidamente as demandas corretivas. Há um inadequado armazenamento das peças, falta controlo do inventário existente e itens sem identificação (não se sabe se está boa, reparada ou com avaria irreparável).
- 8. Normalização e Controlo de Documentos:** não há controlo de documentos e alguns procedimentos estão normalizados.
- 9. Gestão de Recursos Humanos:** cada técnico, de suporte machine ou de teste, é responsável pela manutenção numa linha, ou, no máximo duas, e possui acesso a todas as informações referentes a paragens de linha, planos de produção e atividades a serem desenvolvidas. A maioria dessas informações é dada por e-mail ou diretamente do superior. Não há plano de desenvolvimento de competências definido.
- 10. Gestão de Resultados (Custos e Qualidade da Manutenção):** não há controlo efetivo de custos, e não há dados para determinar os custos da área de manutenção, embora ações nesse sentido estejam sendo planeadas. Com respeito à qualidade dos trabalhos executadas pela equipa de manutenção, existe muita reincidência de falhas e perdas de produção devido a estas paragens.

Com base nesse diagnóstico, foram identificados os níveis de maturidade para cada uma das classes do modelo relativamente ao estado atual em que se encontra a área de manutenção. O resultado desta análise, encontra-se na tabela 52.

Tabela 52 - Modelo de Maturidade: Estado atual da empresa do setor eletroeletrônico.

Classes de Medidas	Nível Atual	Status atual
Cultura Organizacional	2	Cultura em que mudanças são aceites com relutância, Identificada a necessidade de ações para melhoria contínua, mas ainda não adotadas; Limitado trabalho em equipa. Falta espírito de equipa.
Política de Manutenção	1	Manutenção é considerada um mal necessário, estando voltada à resolução de avarias no menor tempo possível.
Gestão Desempenho	1	Não existem indicadores definidos.
Análise de Falhas	1	Análise de falhas realizada quando ocorrem falhas com impacto significativo.
Planeamento e Programação das Atividades de Manutenção Preventiva	3	Planeamento realizado com base nos manuais do fabricante para todos os equipamentos, atrasos e ações programadas não concluídas.
CMMS	1	Utilização de aplicações informáticas para a gestão da manutenção, mas sem integração com demais sistemas da empresa.
Gestão de Estoques (compras e inventário)	2	Demandas de peças e materiais previstas com base no histórico de consumo.
Normalização e Controlo dos Documentos	1	Documentação dos equipamentos indisponível ou desatualizada; Processos e atividades não normalizados.
Gestão de Recursos Humanos	1	Colaboradores possuem baixa competência e atua conforme a ocorrência dos problemas; Formação pontual motivada por problema de grande impacto.
Gestão de Resultados (Custos e Qualidade da Manutenção)	1	Custo elevado e sem controlo. Perceção de desperdício de material elevado e de alta reincidência de falhas..

Com o intuito de promover ações de melhoria na área de manutenção da empresa e melhorar o seu desempenho, tendo como base a avaliação realizada pelo autor do estudo (Filho, 2016), a tabela 53 detalha as soluções propostas, e que serão implementadas em distintas fases, face aos problemas enfrentados pela área de manutenção.

Tabela 53 - Soluções propostas para empresa do setor eletroeletrônico.

Caso de estudo na empresa do setor do eletroeletrônico	
Número (S)	Solução proposta
1	Criação de um sistema para recolha de dados para a área de SMD
2	Introduzir a utilização das ferramentas FMEA, FTA, RCFA, 8D e RCM, uma vez que apenas o Diagrama de Causa e Efeito é adotado relativamente às avarias em equipamentos específicos.
3	Análise de viabilidade adotada para a linha de produção estudada.
4	Otimização do programa de análise das falhas do equipamento de inspeção automática (AOI), de modo a prevenir que falhas no processo de SMD sejam detetadas nos processos seguintes, bem como realizar as ações de melhoria no processo e equipamentos de SMD para evitar a recorrência das falhas detetadas pela AOI.
5	Acompanhamento do índice de falsas falhas em tempo real e atuar implementando nas ações de melhoria.
6	Implementação do Sistema de recolha de dados desenvolvido - PRT - para o cálculo de indicadores de tempo de inatividade de equipamentos, MTBF e MTTR.

Tabela 53 (continuação) - Soluções propostas para empresa do setor eletroeletrônico.

Caso de estudo na empresa do setor eletroeletrônico	
Número (S)	Solução proposta
7	Criação de relatório de paragens de linha, ocorridas em um determinado período de tempo, indicando: motivo, duração e setor responsável pela paragem.
8	Implementação de um sistema de supervisão para monitorizar os níveis de sinais de teste e atuar de modo a evitar falhas no processo produtivo devido aos sistemas de testes. O sistema permitirá, ainda, monitorizar os tempos de inatividade das estações de teste e registar as falhas ocorridas nestes equipamentos.
9	Reforçar a implementação dos Cinco S (5S).
10	Prosseguir com a implementação da TPM.

Com base nas melhorias propostas e caso todas as ações sejam efetivamente implementadas com êxito pela área de manutenção da empresa, foram definidos os níveis de maturidade que seriam atingidos (tabela 54).

Tabela 54 - Modelo de Maturidade: Estado futuro para empresa do setor eletroeletrônico.

Classes de Medidas	Nível Proposto	Status proposto
Cultura Organizacional	2	Cultura em que mudanças são aceites com relutância, identificada a necessidade de ações para melhoria contínua, mas ainda não adotadas; Limitado trabalho em equipa. Falta espírito de equipa.
Política de Manutenção	3	Manutenção é considerada importante para atingir os objetivos da organização. Atuação da manutenção com vista ao aumento de produtividade e redução de custos. Atua de forma preventiva.
Gestão Desempenho	3	Indicadores de desempenho calculados periodicamente, com incidência nos indicadores técnicos e económicos determinados a nível de toda a produção, linha e equipamento.
Análise de Falhas	3	Análise de falhas periódica, baseada num método definido.
Planeamento e Programação das Atividades de Manutenção Preventiva	3	Planeamento realizado com base nos manuais do fabricante para todos equipamentos, atrasos e ações programadas não concluídas.
CMMS	1	Utilização de aplicações informáticas para a gestão da manutenção, mas sem integração com demais sistemas da empresa.
Gestão de Estoques (Compras e Inventário)	2	Demanda de peças e materiais prevista com base no histórico de consumo.
Normalização e Controlo dos Documentos	2	Documentação de equipamentos e processos não organizada; Alguns processos e atividades normalizados, mas não revistos.
Gestão de Recursos Humanos	1	Formação pontual motivada por problemas de grande impacto. Colaboradores possuem baixa competência e atua conforme a ocorrência dos problemas;
Gestão de Resultados (Custos e Qualidade da Manutenção)	3	Ações empreendidas esporadicamente para redução de custos, de perdas e de falhas reincidentes.

Uma comparação entre o estado atual e o estado futuro é apresentado na figura 74, de modo a distinguir-se o grau de evolução nas classes do modelo de maturidade, cabendo à gestão da organização aprofundar os estudos e propor novas ações de melhoria, com o objetivo de alcançar os estados superiores estabelecidos pelo modelo.

Modelo de Maturidade: Empresa setor eletroeletrónico

—●— Nível Atual -●- Nível Proposto

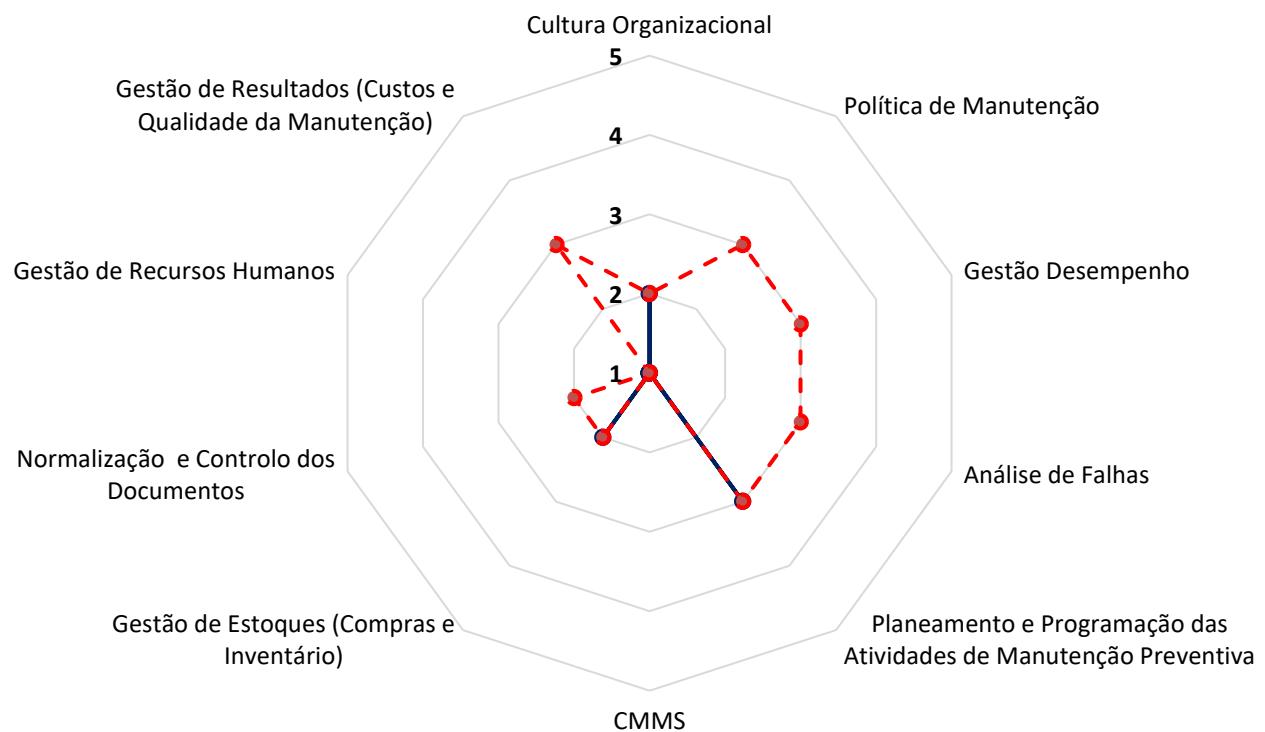


Figura 74 - Indústria setor eletroeletrônico: Nível de Maturidade.

9. CONCLUSÃO

Alguns paralelos podem ser feitos entre a gestão da manutenção e a gestão da Qualidade, sendo que alguns princípios da gestão da qualidade também se aplicam à gestão da Manutenção. Crosby (1990), tido como o precursor dos modelos da maturidade ao desenvolver um modelo voltado para a área da qualidade, afirma que a qualidade é definida como conformidade dos produtos e não como bondade ou elegância. Também mostra que a qualidade é conseguida através da prevenção, e não por meio de avaliações e/ou verificações, e que o padrão de desempenho da qualidade é *zero defeitos*, e não níveis de qualidade aceitáveis, e indicou também que a qualidade deve ser medida pelo preço da não-conformidade.

A qualidade da manutenção está estreitamente associada com a prevenção sistemática de eventos que resultem na paralisação de um ativo, e esta prevenção está fortemente ligada com a estratégia de gestão adotada. A busca por *zero defeitos* e *zero avarias* na manutenção, além de pretender quebrar um paradigma, é uma meta a ser alcançada por meio do uso de técnicas modernas de gestão das atividades realizadas, em consonância com as estratégias das organizações.

O padrão de desempenho da manutenção está associado à ausência de intervenções e não pelo funcionamento fora dos padrões aceitáveis. Além disso, a eficácia de uma manutenção é facilmente percebida pelo tempo de recuperação e estabilização que o processo necessita para recuperar o desempenho anterior à intervenção, e isso deve ser medido em tempo e em qualidade, e não apenas em produtividade.

O questionário desenvolvido e respondido pelas empresas do polo industrial da cidade de Manaus identificou oportunidades de melhoria para estas empresas. Paralelamente a este estudo, os trabalhos desenvolvidos por outros autores em distintos países apontam conclusões muito próximas com respeito à gestão de manutenção: *a manutenção não é percebida como estratégica e possui muitas oportunidades para evoluir*. Para que este quadro seja revertido, a visão da gestão de topo das empresas com respeito à importância da área de manutenção também precisa mudar.

Em contraponto às informações de que a manutenção é vista como estratégica para as empresas percebeu-se, através das respostas do questionário, que esta área possui diversos problemas que devem ser avaliados pela gestão de topo. Verificou-se

que a maior parte das empresas inquiridas atuam maioritariamente de forma reativa, independentemente das práticas preventivas adotadas pela maioria delas.

A cultura da melhoria contínua deve ser intensificada, pois além do nível de reatividade às mudanças, muitas iniciativas são abandonadas durante a sua fase de implementação ou, em alguns casos, caíram em desuso após a implementação. A comparação entre as empresas de origem nacional e internacional revelou que as empresas de origem internacional adotam melhores práticas, o que leva a concluir que o aspecto cultural é um fator relevante e que deve ser avaliado pela gestão de topo das empresas. Um exemplo que sustenta esta informação está na adoção de metodologias de apoio à gestão da manutenção, onde se verificou que um número significativo de empresas que afirmavam adotar o TPM não alcançaram os resultados esperados advindo da adoção deste modelo. Ou seja, não foram confirmados ao longo da análise dos dados obtidos através do questionário, a adequada adoção de indicadores de desempenho, o planeamento de atividades de manutenção autónoma e manutenção planeada e, até mesmo, a realização de formações para as equipas de manutenção.

Relativamente à análise de falhas, identificou-se o baixo uso das distintas ferramentas disponíveis, pois a sua utilização está relacionada com a ocorrência de eventos de grande impacto, configurando a vocação reativa adotada pela área de manutenção das empresas.

Com respeito à gestão de desempenho, os indicadores usualmente adotados relacionam-se com custos, disponibilidade e tempo médio entre avarias. A frequência de utilização de ferramentas de análise de falhas e a adoção de indicadores de desempenho é baixa, e as ações de melhoria derivadas da análise crítica dos resultados da manutenção, com o objetivo de impulsionar ações de melhoria, acabam por ficar num plano secundário, desmistificando a informação coletada de que a manutenção é estratégica para a organização.

O nível de organização da área de manutenção foi uma outra oportunidade de melhoria identificada na pesquisa onde, independentemente do tamanho da empresa ou do segmento industrial à qual pertence, identificou-se um baixo nível de utilização de suporte informático para auxiliar no planeamento e controlo das atividades da área. As empresas recorrem, na sua maioria, a processos manuais ou à adoção de ferramentas computacionais não orientadas para a função manutenção tal como folhas de cálculo, ou seja, poucas empresas adotam um CMMS.

Relativamente às ferramentas informáticas de suporte à manutenção, os sistemas disponíveis no mercado incluem várias funções que são muitas vezes subaproveitadas pelas empresas, por não se adequarem à suas realidades. Existe a necessidade do desenvolvimento de um sistema simples e de baixo custo que seja compatível com qualquer processo e ser, acima de tudo, flexível e robusto para tornar a gestão dos processos de manutenção igualmente simples, objetiva e eficiente.

Com respeito à estrutura organizacional da área de manutenção, a área é maioritariamente subordinada aos departamentos de produção ou de engenharia, não possuindo uma estrutura própria. Esta postura administrativa implica uma baixa autonomia da área de manutenção.

Reconhecidamente, o êxito nas atividades de manutenção está fortemente relacionado com o grau de envolvimento e capacidade dos colaboradores da manutenção. Embora a maioria das empresas afirmem adotar um plano de formação para os membros da equipa de manutenção, a sua baixa competência foi considerada com uma das principais dificuldades enfrentadas para área.

Além disso, a baixa utilização de metodologias de análise de falhas e de indicadores de desempenho foram associadas à falta de conhecimento ou formação adequada, reforçadas com o reconhecimento de que os planos de formação não estavam diretamente alinhados com as necessidades da área de manutenção.

Com efeito, a proposta de um sistema de gestão da manutenção baseada no grau de maturidade da organização no âmbito da manutenção se fez necessário, e os resultados obtidos na pesquisa, somados aos trabalhos desenvolvidos em outras regiões, justifica a proposta de um modelo que dê o suporte adequado aos gestores da área de manutenção, auxiliando no reconhecimento do estado atual da área de manutenção e dando o suporte necessário para que os estágios de evolução seguintes ocorram de forma adequado e no tempo adequado.

O resultado prático da aplicação do modelo desenvolvido nesta tese pode ser verificado nos casos de estudo desenvolvidos em empresas de distintos segmentos industriais e em distintas regiões. Os problemas e desafios encontrados foram bastante próximos, bem como as soluções que podem ser propostas.

O modelo de maturidade proposto visa auxiliar os gestores do departamento de manutenção das empresas na busca das melhores práticas de manutenção e, por conseguinte, auxiliá-los na melhoria do desempenho da área ao nível dos padrões reconhecidos como de classe mundial.

Adicionalmente, o modelo permitirá alcançar determinados objetivos, como por exemplo, a definição de um sistema informático com uso de indicadores de desempenho condicionados ao grau de maturidade, bem como ferramentas de análise de falhas e estratégias de manutenção, de modo a orientar o departamento para uma gestão mais adequada.

Como proposta de trabalho futuro, recomenda-se a aplicação do modelo a empresas de outras regiões, bem como o desenvolvimento de um aplicativo para a recolha das informações relativas ao nível de maturidade da área de manutenção.

BIBLIOGRAFIA

- Acosta, C. V., Leon, J., Conrad, C., Gonzalez, R., & Malave, C. O. (2004). Case Study on Culture and the Implementation of Manufacturing Strategy in Mexico. *Journal of Manufacturing Systems*, Vol. 23, No. 3.
- Almeida, B. P. E. F. (2011). *Estudo da metodologia RAMS: aplicação a um caso prático*. Tese de Mestrado, Instituto Superior Técnico - Universidade Técnica de Lisboa, 103p.
- Al-Mishari, S. T. & Suliman, S. (2008). Integrating Six-Sigma with other reliability improvement methods in equipment reliability and maintenance applications. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, Vol. 14 No. 1, pp. 59-70.
- Al-Najjar, B. (1999). Economic criteria to select a cost-effective maintenance policy. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, Vol. 5 No. 3, pp. 236-47.
- Alsyouf, I. (2006). Measuring maintenance performance using a Balanced Scorecard approach. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, Vol.12, No 2, pp. 133-149.
- Alsyouf, I. (2009). Maintenance practices in Swedish industries: Survey results. *International Journal Production Economics*, 121, pp. 212-223.
- Amaral, F. D. (2016). *Gestão da Manutenção na Indústria*. 1ª edição. Lisboa: Lidel - Edições Técnicas Ltda, 403p.
- Amrina, E. & Vilsi, A. L. (2015). *Key performance indicators for sustainable manufacturing evaluation in cement industry*. 12th Global Conference on Sustainable Manufacturing, Procedia CIRP 26, pp. 19-23.
- Andersen, B., & Fagerhaug, T. (2006). *Root cause analysis: simplified tools and techniques*. 2ª Edition, American Society for Quality, Quality Press.
- Antil, P. (1991). *The maintenance organisational maturity grid*. Maintec Conference, March, COMAC Publications, Birmingham.
- Arts, R. H. P. M., Knapp, G. M. & Mann, L. (1998). Some aspects of measuring maintenance performance in process industry. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, Vol. 4 No. 1, pp. 6-11.
- Asikainen, S. (2013). *Assessment of purchasing maturity in spare parts sypply chain*. Tese de Mestrado, Turku University - Finland, 85p.
- Aspinwall, E. & Elgharib, M. (2013), TPM implementation in large and medium size organizations. *Journal of Manufacturing Technology Management*, Vol. 24 No. 5, 2013, pp. 688-710.
- Assis, R. (2010). *Apoio à decisão em manutenção na gestão de ativos físicos*. Lisboa: Lidel - Edições Técnicas Ltda, 285p.

Atkinson, A. A., Waterhouse, J. H. & Well, R. B. (1997). A stakeholder approach to strategic performance measurement. *Sloan Management Review*, Vol. 38 No. 3, pp. 25-38.

Atkinson, P. (2010), Lean is a cultural issue. *Management Services; Summer 2010*, Vol. 54 Issue 2, p35.

Baird, K., Hu, K. J., & Reeve, R. (2011). The relationships between organizational culture, total quality management practices and operational performance. *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 31 Iss: 7, pp.789-814.

Bakhtiar, A., Purwanggono, B. & Metasari, N. (2009). Maintenance Function's performance evaluation using adapted balanced scorecard model. *World Academy of Science, Engineering and Technology* 58.

Bamber, C. J., Sharp, J. M. & Hides, M. T. (1999). Factors affecting successful implementation of TPM a UK manufacturing case study perspective. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, Vol. 5 No. 3, pp. 162-181.

Bamber, C. J., Sharp, J. M. & Hides, M. T. (2000). Developing management systems towards integrated manufacturing: a case study perspective. *Journal of Integrated Manufacturing Systems*, Vol. 11 No. 7, pp. 454-461.

Bevilacqua, M. & Braglia, M. (2000). The analytical hierarchy process applied to maintenance strategy selection. *Reliability Engineering and System Safety* 70, pp. 71-83.

Bontis, N., Dragonetti, N., Jacobsen, K. & Roos, G. (1999). The knowledge toolbox: a review of the tools available to measure and manage intangible resources. *European Management Journal*, Vol. 17 No. 4, pp. 391-402.

Bortolotti, T., Boscari, S. & Danese, P. (2015). Successful lean implementation: Organizational culture and soft lean practices. *International Journal of Production Economics*, vol. 160, pp. 182-201.

Bessant, J., Caffyn, S., & Gallagher, M. (2001). An evolutionary model of continuous improvement behavior. *Technovation*, 21(2), 67-77.

Cabral, J. P. S. (2006). *Organização e Gestão da Manutenção dos conceitos à prática*. 6^a Edição - Segundo a Norma Europeia de Terminologia EM 1336 - Lisboa: Lidel - Edições Técnicas Ltda, 362p.

Cáceres, B. (2004). *Cómo Incrementar la Competitividad del Negocio mediante Estrategias para Gerenciar el Mantenimiento*. VI Congreso Panamericano de ingeniería de Mantenimiento. México, D.F.

Campbell, J. D. & Jardine, A. K. S. (2001). *Maintenance excellence: Optimizing equipment life-cycle decisions*. CRC Press; 1 edition, 536p.

Campbell, J. D. & Reyes-Picknell, J. V. (2006). *Uptime: Strategies for Excellence in Maintenance Management*. Productivity Press; 2 edition, 384p.

Carnero, M. C. & Novés, J. L. (2006). Selection of computerized maintenance management system by means of multicriteria methods. *Production Planning & Control*, 17:4, 335-354.

Cauchick, P. A. & Segismundo, A. (2008). *O papel do FMEA no processo de tomada de decisão em desenvolvimento de novos produtos: Estudo em uma Empresa Automotiva*. Departamento de Engenharia de Produção, Escola Politécnica da USP, São Paulo/SP.

Chambers, M. & King, S. (2006). *Lean Six Sigma Maintenance*. Proceedings of The Society for Maintenance and Reliability Professionals, <http://library.smrp.org/2006>.

Chen, C. C. (2013). A developed autonomous preventive maintenance programme using RCA and FMEA. *International Journal of Production Research*, vol. 51 No. 18, pp. 5404-5412.

Cholasuke, C., Bhardwa, R. & Antony, F. (2004). The status of maintenance management in UK manufacturing organizations: results from a pilot survey. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 10 (1), pp. 5-15.

Clarke, A. & Garside, J. (1997). The development of a best practice model for change management. *European Management Journal*, 15, no. 5.

Coetzee, J. L. (1998). *Maintenance*. Maintenance Publishers, Republic of South Africa.

Cooke, F. L. (2000). Implementing TPM in plant maintenance: some organizational barriers. *International Journal of Quality and Reliability Management*, Vol. 17 No. 9, pp. 1003-1016.

Cooper, H. C. (2010). *Lean maintenance for Lean manufacturing (using Six sigma DMAIC)*. Consultado em 13/02/2014, disponível em www.amemco.net, http://www.qualitydigest.com/inside/six-sigma-article/lean-maintenance-using-six-sigma-dmaic.html.

Craig, C. S., & Douglas, S. P. (2006). Beyond national culture: implications of cultural dynamics for consumer research. *International Marketing Review* Vol. 23 No. 3, pp. 322-342.

Crawford, K. M. & Cox, J. F. (1990). Design performance measurement systems for just-in-time operations. *International Journal of Production Research*, vol. 28 No. 11, pp. 2025-36.

Crosby, P. B. (1979). *Quality is free: The art of making quality certain*. 1st edition. New York, NY: McGraw-Hill Companies, 309p.

Curtis, B., Hefley, W. E., & Miller, S. A. (2002). *People capability maturity model: guidelines for improving the work force*. Reading, MA: Addison Wesley.

Curtis, B., Hefley, W. E., & Miller, S. A. (2003). Experiences applying the people capability maturity model. *The Journal of Defense Software Engineering*. Consultado em 13/02/2014, disponível em <http://www.stsc.hill.af.mil/crosstalk/2003/04/curtis.html>

Curtis, B., Hefley, W. E., & Miller, S. (1995). *Overview of the people capability maturity model*. Software Engineering Institute-Carnegie-Mellon University. Pittsburgh,

Pennsylvania. Consultado em 13/02/2014, disponível em <http://www.sei.cmu.edu/pub/documents/95.reports/pdf/mm001.95>

De Marco, V. S. (2013). *Gestão de Ativos e o PAS 55 - Um novo paradigma?* Consultado em 20/10/2015, disponível em http://www.tecem.com.br/wp-content/uploads/2013/03/gestao-de-ativos-e-o-pas-55-um-novo-paradigma_Tecem.pdf.

De Witte, Karel & Van Muijen, Jaap J. (1999). Organizational Culture. *European Journal of Work and Organizational Psychology*, 8:4, 497-502.

Dunn, S. (2005). *Approaches to maintenance task selection*. Consultado em 13/02/2014, disponível em www.plant-maintenance.com/articles/maintenance_task_selection.shtml.

Dunn, A. (1996). *A framework for achieving best practice in maintenance*. A Conference Paper presented to the West Australian Maintenance Conference (30, October). <http://www.plant-maintenance.com/change.shtml>.

Dutra, J. S. (2002). *Gestão de pessoas: modelo, processos, tendências e perspectivas*. São Paulo: Atlas, 210p.

Earthy, J. V., Bowler, Y., Forster, M., & Taylor, R. (1999). A human factors integration capability maturity model. *International Conference on People in Control (Human Interfaces in Control Rooms, Cockpits and Command Centres)*. Bath, Reino Unido. Consultado em 13/02/2014, disponível em <http://link.aip.org/link/abstract/IECPS/v1999/iCP463/p320/s1>

Estorilio, C., Posso, R. K. (2010). The reduction of irregularities in the use of process FMEA. *International Journal of Quality & Reliability Management*, Vol. 27 Iss: 6 pp. 721-733.

Fernandez, O., Labib, A. W., Walmisley, R. & Petty, D. J. (2003). A decision support maintenance management system: Development and Implementation. *International Journal of Quality & Reliability Management*, Vol.20, No 8, pp. 965-979.

Filho, G. B. (2006). *Indicadores e Índices de Manutenção*. Rio de Janeiro, RJ: Editora Ciência Moderna, 148p.

Filho, G. B. (2008). *A Organização, o Planejamento e o Controle da Manutenção*. Rio de Janeiro, RJ: Editora Ciência Moderna, 257p.

Filho, G. F. B. (2016). *Otimização de Confiabilidade e Usabilidade de Processo Produtivo em Fábrica de Placas de Circuito Impresso do Polo Industrial de Manaus*. Dissertação de Graduação, Universidade do Estado do Amazonas - UEA, 83p.

Folan, P., & Browne, J. (2005). A review of performance measurement: Towards performance management. *Computers in Industry* 56, pp. 663-680. www.elsevier.com/locate/compind.

Fraser, P., Moultrie, J. & Gregory, M. (2002). *The use of maturity models/grids as a tool in assessing product development capability*. Proceedings of the IEEE International Engineering Management Conference, Cambridge, UK, Vol. 1, pp. 244-249.

Freixo, M. J. V. (2011). *Metodologia Científica: Fundamentos, Métodos e Técnicas*. 3^a edição. Lisboa, PT: Instituto Piaget, 296p.

Garg, A., & Deshmukh, S. G. (2006). Maintenance management: literature review and directions. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, Vol. 12 No. 3, pp. 205-238.

Garrett, G.A., & Rendon, R.G., (2005). Managing contracts in turbulent times: the contract management maturity model. *Contract Management*, 45(9), 48-57.

Gits, C. (1992). Design of maintenance concepts. *International Journal of Production Economics*, 24 (3), pp. 217-226.

Gomes, P. (2013). *Análise da criticidade dos equipamentos*. Consultado em 12/07/2016, disponível em <http://profissionaltech2.blogspot.pt/2013/03/analise-da-criticidade-dos-equipamentos.html>.

Gonsalves, E.P. (2011). *Conversas sobre iniciação à pesquisa científica*. 5a edição. Campinas, SP: Editora Alínea, 104p.

González-Prida, V., Viveros, P., Crespo, A., & Martin, C. (2014). Multi-criteria decision tool applied to a system reliability for the prioritization of spare parts. *RT&A #02* (33), (Vol.9).

Goossens, J. M. A. & Basten, J. I. R. (2015). Exploring maintenance policy selection using the Analytic Hierarchy Process: An application for naval ships. *Reliability Engineering and System Safety*, 142, pp. 31-41.

Gulati, R. & Smith, S., (2009). *Maintenance and reliability best practices*. New York - NY. Industrial Press Inc., 416p.

Gupta, S., Tewari, P. C., & Sharma, A. K. (2006). *TPM Concept and Implementation Approach*. Consultado em 12/10/2015, disponível em www.maintenanceworld.com/Articles/sorabh/Research_Paper.pdf.

Haarman, M. & Delahay, G. (2004). *VDM Value Driven Maintenance*, Mainnovation, Dordrecht.

Hackos, J. (2004). The Information Process Maturity Model: A 2004 Update. *Best Practices*, Volume 6, Number 4.

Hall, R. W. (1983). *Zero Inventories*. Dow-Jones Irving, Homewood - IL, 329p.

Higgins, L. R., Atwater, C. A., & Mobley, K. R., (2001). *Maintenance Engineering Handbook*. 6th edition. New York, NY: McGraw-Hill, 1200p.

Hokstad, P. V. J., & Bodsberg, L. (1996). An overall model for maintenance Optimization. *Reliability Engineering and System Safety*, 51, pp. 241-257

Horner, R. M. W., El-Haram, M. A. & Munns, A. K. (1997). Building maintenance strategy: a new management approach. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, Vol. 3 Iss: 4 pp. 273 - 280.

House, C. H. & Price, R. L. (1991). The return map: tracking production teams. *Harvard Business Review*, January-February, pp. 92-100.

Humphrey, W. S. (1996). *Managing technical people: innovation, teamwork, and the software process*. Reading, MA: Addison-Wesley, 352p.

Institute of Asset Management, IAM (2014). *Pass 55 Assessment Methodology (PAM)*. Consultado em 20/10/2015, disponível em <https://theiam.org/products-and-services/pas55-methodology>

Institute of Asset Management, IAM (2014). *The Self-Assessment Methodology - Guidance*. Consultado em 20/10/2015, disponível em <https://theiam.org/Self-Assessment-Methodology-Guidance-20Jun14>

Jones, K., & Collis, S. (1996). Computerized maintenance management systems. *Property Management*, Volume 14, Número 4, pp. 33-37.

Jonsson, P. (1997). The status of maintenance management in Sweden manufacturing firms. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, Vol. 3, Nº. 4, pp. 233 - 258.

Kaplan R. S., & Norton, D. P. (1996). *The balanced scorecard: Translating strategy into actions*. First edition. Boston, MA: Harvard Business School Press, 336p.

Kardec, A., & Lafraia, J. R. (2002). *Manutenção: Gestão Estratégica e Confiabilidade*. Rio de Janeiro: Qualitymark Editora: ABRAMAN, 112 p.

Kardec, A., & Nascif, J. (2007). *Manutenção: Função Estratégica*. Rio de Janeiro: Qualitymark Editora: 4a reimpressão, 368p.

Kardec, A., Nascif, J. & Baroni, T. (2002). *Manutenção: Gestão Estratégica e Técnicas Preditivas*. Rio de Janeiro: Qualitymark Editora: ABRAMAN, 160 p.

Katsllometes, J. (2004). *How Good Is My Maintenance Program?* Plant Operators Forum. Denver, Colorado.

Kelly, A. (1997). *Maintenance Organization and Systems*. First edition, UK: Butterworth-Heinemann, 320p.

Kelly, A. (1997). *Maintenance strategy, business centered maintenance*. First edition, UK: Butterworth-Heinemann, 272p.

Kevin, F. G. & Penlesky, R. J. (1988). A framework for developing maintenance strategies. *Production and Inventory Management Journal*, Vol. First Quarter pp16-21.

Khalil, J., Sameh, M. S. & Gindy, G. (2009). An integrated cost optimization maintenance model for industrial equipment. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, Vol. 15 Iss 1 pp. 106-118.

Kianfar, A. & Kianfar, F. (2010). Plant function deployment via RCM and QFD. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, Vol. 16 Iss: 4 pp. 354-366.

Kim, C. (2004). The effects of IT expenditures on banks' business performance: using a balanced scorecard approach. *Managerial Finance*, Vol. 30 No. 6, pp. 28-45.

Kommonen, K. (2002). A cost model of industrial maintenance for profitability analysis and benchmarking. *International Journal of Production Economics*, Vol. 79 No. 1, pp. 15-31.

Kutucuoglu, K., Hamali, J., Irani, Z., & Sharp, J. (2001). A framework for managing maintenance using performance measurement systems. *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 21 Nos 1/2, pp. 173-94.

Labib, A. W., (1999). A framework for benchmarking appropriate productive maintenance. *Management Decision*, Vol. 37, No.10, pp.792-799.

Labib, A. W. (2004). A decision analysis model for maintenance policy selection using a CMMS. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, Vol.10, Iss: 3, pp. 191-202.

Lafraia, J. R. B. (2001). *Manual de confiabilidade, manutenabilidade e disponibilidade*. Rio de Janeiro: Qualitymark Editora: Petrobrás, 388p.

Lea, R., & Parker, B. (1989). The JIT spiral of continuous improvement. *IMDS* 4, pp. 10-13.

Levitt, J. (1997). *The Handbook of Maintenance Management*. New York, NY: Industrial Press Inc., 475p.

Levitt, J. (2003). *Complete guide to preventive and predictive maintenance*. First edition. New York, NY: Industrial Press Inc., 210p.

Levitt, J. (2008). *Lean maintenance*. First edition. New York, NY: Industrial Press Inc., 240p.

Lian, Z., Liu, X., & Zhao, N. (2009). A perishable inventory model with Markovian renewal demands. *International Journal of Production Economics*, 121, pp. 176-182.

Liker, J. K. (2004). *The Toyota Way*. McGraw-Hill, New York, NY, 330p.

Liker, J. K. & Rother, M. (2011). *Why Lean Programs Fail*. Lean Enterprise Institute. Consultado em 14/03/2016, disponível em <http://www.lean.org/Search/Documents/352.pdf>.

Liyanage, J. & Kumar, U., (2003). Toward a value-based view on operations and maintenance performance management. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, Vol. 9 No. 4, pp. 333-50.

Lockamy III, A. & McCormack, K. (2004). The development of a supply chain management process maturity model using the concepts of business process orientation. *Supply Chain Management: An International Journal*, 9(4), 272-278.

Löfsten, H. (1999). Management of industrial maintenance: Economic evaluation of maintenance policies. *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 19 No. 7, pp. 716-737.

Lopes, I. S. (2007). *Técnicas Quantitativas no apoio à decisão em sistemas de manutenção*. Tese de Doutoramento, Universidade do Minho, 198p.

Maier, A., Moultrie, J. & Clarkson, P. J. (2009). *Developing maturity grids for assessing organizational capabilities: Practitioner guidance*. Proceedings of the 4th International Conference on Management Consulting, Academy of Management (MCD), Vienna, Austria.

Maletič, D., Maletič, M. & Gomišček, B. (2014). The impact of quality management orientation on maintenance performance. *International Journal of Production Research*, 2014 Vol. 52, No. 6, 1744-1754.

Marques, L. M. L. (2007). *Aplicação do Maintenance Scorecard a um equipamento de RMN*. Tese de Mestrado, Universidade do Porto, 164p.

Marquez, A. C. & Gupta, J. N. D. (2006). Contemporary maintenance management: process, framework and supporting pillars. *Omega* 34 pp. 313-326.

Martinsons, M., Davison, R. & Tse, D. (1999). The balanced scorecard: a foundation for strategic management of information systems. *Decision Support Systems*, Vol. 25 No. 1, pp. 71-88.

Maskell, B. H. (2000). *Performance measurement for world-class manufacturing: A model for American companies*. Productivity Press; 1 edition, 429p.

Mather, D. (2005). *The Maintenance Scorecard: Creating strategic advantage*. First edition. New York - NY. Industrial Press Inc., 257p.

McDermott, C. M., & Stock, G.N. (1999). Organizational culture and advanced manufacturing technology implementation. *Journal of Operations Management*, 17 1999 521–533.

Mengue, D. C., & Sellitto, M. A. (2013). Estratégia de manutenção baseada em funções de confiabilidade para uma bomba centrífuga petrolífera. *Revista Produção Online*, Florianópolis, SC, v.13, n. 2, p. 759-783, abr./jun. 2013.

Mishra, R. P., Anand, G. & Kodali, R. (2008). A SWOT analysis of total productive maintenance frameworks. *International Journal of Management Practice*, Vol. 3 No. 1, pp. 215-251.

Mooraj, S., Oyon, D. & Hostettler, D. (1999). The BSC: a necessary good or an unnecessary evil? *European Management Journal*, Vol. 17 No. 5, pp. 481-91.

Morais, L. (2005). *Desenvolvimento de ferramentas para aplicação da metodologia RAMS a equipamentos industriais*. Tese de Mestrado, FEUP - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 500p.

Moubray, J. (2000). *Manutenção Centrada em Confiabilidade*. 2^a Edição, Aladon Ltda, 425p.

Muchiri, P. N., Pintelon, L., Gelders, L. & Martin, H. (2011). Development of maintenance function performance measurement framework and indicators. *International Journal of Production Economics*, vol. 131, pp. 295–302.

Muchiri, P.N., Pintelon, L., Martin, H. & Chemweno, P. (2014). Modelling maintenance effects on manufacturing equipment performance: results from simulation analysis. *International Journal of Production Research*, Vol. 52, No. 11, pp. 3287-3302. <http://dx.doi.org/10.1080/00207543.2013.870673>

Muchiri, P. N., Pintelon, L., Martin, H. & De Meyer, A.-M. (2010), Empirical analysis of maintenance performance measurement in Belgian industries. *International Journal of Production Research*, 48:20, 5905-5924.

Munk, L. (1999). *A efetiva formação de equipes de trabalho: Uma abordagem à luz das mudanças organizacionais*. Tese de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, 115p.

Nakajima, S. (1988). *Introduction to Total Productive Maintenance*. Cambridge, MA, Productivity Press, 129p.

Nakajima, S. (1989). *TPM Development Program: Implementing Total Productive Maintenance*. Portland, OR, Productivity Press, 427p.

Neely, A., Gregory, M. & Platts, K., (1995). Performance measurement system design: a literature review and research agenda. *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 15 No. 4, pp. 80-116.

Neely, A., Richards, W., Mills, J., Platts, K. & Bourne, M. (1997). Designing performance measurement: a structured approach. *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 17 No. 11, pp. 1131-1152.

Nepomuceno, L. X. (1989). *Técnicas de Manutenção Preditiva*. Vol.1, 1a edição. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda., 501p.

Nepomuceno, L. X. (1989). *Técnicas de Manutenção Preditiva*. Vol.2, 1a edição. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda., 451p.

Neuhäuser, C. (2004). A maturity model: does it provide a path for online course design? *The Journal of Interactive Online Learning*, 1(3), 1-17.

Niebel, B. W. (1996). *Engineering Maintenance Management*. CRC Press; 2 edition, 384p.

Norma Brasileira ISO 55000:2014. *Gestão de ativos: Visão geral, princípios e terminologia*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 23p.

Norma Brasileira ISO 55001:2014. *Gestão de ativos: Sistemas de gestão - Requisitos*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 16p.

Norma Brasileira ISO 55002:2014. *Gestão de ativos: Sistema de gestão - Diretrizes para aplicação da ABNT NBR ISO 55001*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 38p.

Norma Brasileira ISO 9001:2008. *Sistema de gestão da qualidade - Requisitos*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 36p.

Norma Brasileira ISO 9004:2010. *Gestão para o sucesso sustentado de uma organização - Uma abordagem da gestão da qualidade*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 47p.

Norma Portuguesa NP 4483:2009. *Guia para a implementação do sistema de gestão da manutenção*. Instituto Português da Qualidade, 22p.

Norma Portuguesa NP EN13306:2007. *Terminologia da manutenção*. Instituto Português da Qualidade, 37p.

Norma Portuguesa NP EN15341:2009. *Manutenção: Indicadores de desempenho da manutenção (KPI)*. Instituto Português da Qualidade, 30p.

Norma QS-9000 (SAE J-1739), (2002). *Análise de modo e efeitos de falha potencial (FMEA): Manual de referência*. Segunda Edição. São Paulo: IQA - Instituto da Qualidade Automotiva, 85p.

Norma SAE JA 1011:1999. *Critérios de avaliação de processos de manutenção centrada na confiabilidade*. Consultado em 18/08/2010, disponível em <http://www.sae.org>.

Nørreklit, H. (2000). The balance on the balanced scorecard - a critical analysis of some of its assumptions. *Management Accounting Research*, 11, 65-88.

Nunes, P. (2008). *Conceito da Teoria da Maturidade de Argyris*. Consultado em 02/06/2010, disponível em <http://www.knoow.net/cienceconempr/gestao/teoriamaturidadeargyris.htm>.

O'Rilley III, C. A., Chatman, J & Caldwell, D. F. (1991). People and organizational culture: A profile comparison approach to assessing person-organization fit. *The Academy of Management Journal*, Volume 34, Issue 3, pp. 487-516.

Okes, D. (2009). *Root cause analysis: the core of problem solving and corrective action*. 2^a Edition, American Society for Quality, Quality Press, 200p.

Oliveira, M. A. & Cardoso, I. A. P. (2008). Reliability study for a production line of mobile phone manufacturing. *8º Simpósio Internacional de Confiabilidade, Florianópolis, SC: Reliasoft Co.* <http://www.arsymposium.org/southamerica/Simposio2008/index.htm>

Oliveira, M. A. & Cardoso, I. A. P. (2009). Simplificando o gerenciamento da manutenção usando o MMS. *M&Q - Revista Manutenção y Qualidade*. Rio de Janeiro, Ed. 78, p.24-28.

Oliveira, M. A., Semitan, M. C. & Maciel, E.L.F. (2009). RCM: Gestão eficaz de ativos - um estudo de caso. *9º Simpósio Internacional de Confiabilidade*, Curitiba, PR: Reliasoft Co. http://www.arsymposium.org/southamerica/Simposio2009/2009_survey.htm

Palady, P. (1997). *FMEA: Análise dos Modos de Falha e Efeitos: prevendo e prevenindo problemas antes que ocorram*. São Paulo: Instituto IMAM, 270p.

Panneerselvam, M. K. (2012). TPM implementation to invigorate manufacturing performance: an Indian industrial rubric. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, Volume 3, Issue 6.

Pedrosa, B. M. M. (2014). *Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos (FMEA) aplicada a um secador industrial*. Tese de Mestrado, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa - Portugal, 98p.

Pereira, F. S. D. & Sena, F. M. V. (2012). *Fiabilidade e sua aplicação à manutenção*. Porto: Publindústria Edições Técnicas, 160p.

Pereira, M. J. (2009). *Engenharia de Manutenção - Teoria e Prática*. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna Ltda., 228p.

Pereira, M. J. (2010). *Técnicas avançadas de Manutenção*. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna Ltda., 79p.

Pereira, O. J. G. (2016). *Análise e Otimização de Processos no Departamento de Manutenção de uma Empresa Industrial*. Tese de Mestrado, Instituto Politécnico do Porto, 233p.

Pinjala, S. K., Pintelon, L. & Vereecke, A. (2006). An empirical investigation on the relationship between business and maintenance strategies. *International Journal of Production Economics*, 104, pp. 214-229.

Pintelon L. & Parodi-Herz A. (2008). Maintenance: an evolutionary perspective. Kobbacy KAH, Prabhakar Murthy DN, editors. *Complex system maintenance handbook, Springer series in reliability engineering*. London: Springer London. pp. 21-48 [Chapter 2]. http://dx.doi.org/10.1007/978-1-84800-011-7_2

Pintelon, L., Pinjala, S. K. & Vereecke, A. (2006). Evaluating the effectiveness of maintenance strategies. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, Vol. 12 No. 1, pp. 7-20.

Pintelon, L., Van Horenbeek, A. & Chemweno, P. (2014). *Asset maintenance maturity model as a structured guide to maintenance process maturity*. Consultado em 18/01/2014, https://lirias.kuleuven.be/bitstream/123456789/415635/1/MPMM_2013_conference_paper.pdf

Pintelon, L. & Van Puyvelde, F. (1997). Maintenance performance reporting systems: some experiences. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, Vol. 3 Iss: 1, pp.4-15.

Pinto, J. P. (2013). *Manutenção Lean*. Lisboa: Lidel - Edições Técnicas Ltda, 285p.

Pinto, J. P. (2014). *Pensamento Lean: A filosofia das organizações vencedoras*. Lisboa: Lidel - Edições Técnicas Ltda, 6^a edição, 348p.

Prado, C. C. A. (2001). *Sistema informatizado de gerenciamento de manutenção mais ajuda ou mais atrapalha?* Consultado em 06/11/2010, disponível em http://www.tecem.com.br/downloads/sistema_inf_gerenciamento.pdf.

Prajogo, D. I. & Sohal, A. S. (2006). The relationship between organization strategy, total quality management (TQM), and organization performance - the mediating role of TQM. *European Journal of Operational Research* 168, 35-50.

Project Management Institute, (2005). *Organizational project management maturity model*. Consultado em 13/02/2014, disponível em <http://www.pmi.org/BusinessSolutions/Pages/Organizational-Project-Management-Maturity-Model.aspx>

Puente, J., Pino, R., Priore, P. & Fuente, D. (2002). A decision support system for applying failure mode and effects analysis. *The International Journal of Quality & Reliability Management*, V.19, p.137-150.

Rambaud, L. (2011). *8D structured problem solving: a guide to creating high quality 8D reports*. Second edition. PHRED Solutions, USA, 147p.

Rausand, M. (1988). *Reliability Centered Maintenance*. Reliability Engineering and System Safety (60), pp. 121-132.

Ribeiro, J. L. D. & Fogliatto, F. S. (2009). *Confiabilidade e manutenção industrial*. Rio de Janeiro: Elsevier Editora Ltda., 265p.

Robinson, C. J. & Ginder, A. P. (1995). *Implementing TPM: The North American Experience (step-by-step approach to TPM implementation)*. Productivity Press, Portland, OR, 197p.

Robson, K., MacIntyre, J. & Trimble, R. (2013). Measuring the status and alignment of maintenance and manufacturing strategies - the development of a new model and diagnostic tool. *Journal of Quality in Maintenance*, Vol. 19, No. 4, pp. 381-397.

Rodrigues, M. & Hatakeyama, K. (2006). Analysis of the fall of TPM in companies. *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 179, pp. 276-279.

Sales, N. P. (2008). *Confiabilidade, a análise e o tratamento da falha*. São Paulo: A&RM Associados Ltda., 251p.

Salonen, A. & Deleryd, M. (2011). Cost of poor maintenance: A concept for maintenance performance improvement. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, Vol. 17 Iss: 1 pp. 63 - 73.

Sánchez, A. M. & Pérez, M. P. (2001). Lean indicators and manufacturing strategies. *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 21 No. 11, pp. 1433-1451.

Sari, E., Shaharoun, A.M., Ma'aram, A. & Yazid, A.M. (2015). *Sustainable maintenance performance measures: a pilot survey in Malaysian automotive companies*. 12th Global Conference on Sustainable Manufacturing, Procedia CIRP 26, pp. 443-448.

Schonberger, R. J. (2008): *World Class Manufacturing: The lessons of simplicity applied*. The Free Press, New York, 274p.

Sharma, R.K. & Sharma, R.G. (2014). Integrating Six Sigma culture and TPM framework to improve manufacturing performance in SMEs. *Quality and Reliability Engineering International Journal*, 30, pp. 745-765.

Sharma, R.K., Kumar, D. & Kumar, P. (2006). Manufacturing excellence through TPM implementation: a practical analysis. *Industrial Management & Data Systems*, Vol. 106 Iss: 2 pp. 256-280.

Sherwin, D. J. (2000). A review of overall models for maintenance management. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, Vol. 6 Iss: 3 pp. 138-164.

Shirose, K. (1996). *TPM-Total Productive Maintenance: New implementation program in fabrication and assembly industries*. Japan Institute of Plant Maintenance, 560p.

Silveira, V. N. S. (2009). *Os Modelos Multiestágios de Maturidade: Um breve relato de sua história, sua difusão e sua aplicação na gestão de pessoas por meio do People Capability Maturity Model (P-CMM)*. Consultado em 13/02/2014, disponível em <http://www.anpad.org.br/rac>.

Sim, K. L. & Rogers, J. W. (2009). Implementing lean production systems: barriers to change. *Management Research News*, Vol. 32 Iss: 1, pp.37 - 49.

Siqueira, I. P. (2005). *Manutenção Centrada na Confiabilidade: Manual de implementação*. Rio de Janeiro: Qualitymark Editora Ltda, 1a edição, 408p.

Siqueira, J. (2008). *O modelo de maturidade de processos: como maximizar o retorno dos investimentos em melhoria da qualidade e produtividade*. Consultado em 10/08/2010, disponível em <http://www.qualidade.com.br/columnas/coluna.php?idCol=32>.

SME (1995). *Total productive maintenance in America*. Dearborn, MI, Society of Manufacturing Engineers.

Smith, A. M. & Hinchcliffe, R. G. (2004). *RCM - Gateway to world class manufacturing*. Elsevier Butterworth-Heinemann, 337p.

Smith, R. & Hawkins, B. (2004). *Lean maintenance: reduce costs, improve quality and increase market share*. Elsevier Butterworth-Heinemann, 287p.

Souza, V. C. (2007). *Organização e gerência da manutenção: planejamento, programação e controle da manutenção*. 2a edição. São Paulo: All Print Editora, 314p.

Stamatis, D. H. (1995). *Failure Mode and Effect Analysis: FMEA from theory to execution*. 2nd. ed. ASQC, Milwaukee: Quality Press, 2003. 494p.

Steinbacher, H. R. & Steinbacher, N. L. (1993). *TPM for America: What it is and why you need it*. First edition, Cambridge, MA, Productivity Press, 169p.

Strutt, J. E., Sharp, J. V., Terry, E. & Miles, R. (2006). Capability maturity models for offshore organizational management. *Environment International* 32, pp.1094-1105.

Suframa, (2013). Profile. Consultado em 20/03/2013, disponível em http://www.suframa.gov.br/zfm_industria.cfm.

Suzuki, T. (1994): *TPM in process industries*. Portland, OR, Productivity Press, 416p.

Svantesson, T. (2008). Benchmarking in Europe. *EFMS Workshops 2004-2005*.

Swanson, L. (1997). An empirical study of the relationship between production technology and maintenance management. *International Journal of Production Economics*, Vol. 53, pp. 191-207.

Swanson, L., (2001). "Linking maintenance strategies to performance", International Journal of Production Economics, Vol. 70 No. 3, pp. 237-244.

Takahashi, Y. & Osada, T. (1993). *TPM / MPT: Manutenção produtiva total*. São Paulo: Instituto IMAM, 322p.

Tararthuch, A. (2009). *Guia Prático 8D: Fornecedor*.
http://www.landisgyr.com/bl/files/pdf1/Guia_Pratico_8D_-_Fornecedor1.pdf.

Tavares, L. A. (1999). *Administração Moderna da Manutenção*. Rio de Janeiro, RJ: Novo Pólo Publicações, 123p.

Tinga, T. (2010). Application of physical failure models to enable usage and load based maintenance. *Reliability Engineering & System Safety*, Volume 95, Issue 10, pp. 1061-1075.

Thomaz, M. F. (2015). *Balanced ScoreCard e Hoshin Kanri: alinhamento organizacional e execução de estratégia*. Lisboa: Lidel - Edições Técnicas Ltda, 1ª edição, 142p.

Tsang, A. (1998). A strategic approach to managing maintenance performance. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, Vol. 4 No. 2, pp. 87-94.

Tsang, A. (2002). Strategic dimensions of maintenance management. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, Vol. 8 No. 1, pp. 7-39.

Tsang, A. H. C. (1995). Condition-based maintenance: tools and decision-making. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, Vol. 1 No. 3, pp. 3-17.

Tsang, A., Jardine, A. & Kolodny, H. (1999). Measuring maintenance performance: a holistic approach. *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 19 No. 7, pp. 691-715.

Turner, S. (2005). *PM Optimization: Maintenance analysis of the future*. Consultado em 13/02/2014, disponível em www.pmoptimisation.com.

Valmohammadi, C. & Roshanzamir, S. (2015). The guidelines of improvement: Relations among organizational culture, TQM and performance. *International Journal Production Economics* 164, pp. 167-178.

Van Horenbeek, A., & Pintelon, L. (2014). Development of a maintenance performance measurement framework-using the analytic network process (ANP) for maintenance performance indicator selection. *Omega (United Kingdom)*, 42(1), 33-46.

Verweire, K. & Van den Berghe, L. (2004). *Integrated performance management: a Guide to Strategy Implementation*. SAGE Publications Ltd; first edition, 352p.

Viana, H. R. G. (2002). *Planejamento e Controle da Manutenção*. Rio de Janeiro: Qualitymark Editora Ltda., 1a edição, 192p.

Visconti, M., & Cook, C. (1993). Software System Documentation Process Maturity Model. In ACM Conference on Computer Science 1993, 352-357.

Vorley, G. & Bushell, M-C. (2008). *Mini guide to root cause analysis*. Quality Management & Training. Consultado em 10/10/2014, disponível em <http://www.qmt.co.uk/>.

Waeyenbergh, G. & and Pintelon, L. (2002). A framework for maintenance concept development. *International Journal of Production Economics* 77, 299-313.

Wang, H. (2002). A survey of maintenance policies of deteriorating systems. *European Journal of Operational Research* 139, pp. 469-489.

Wang, H. & Pham, H. (1996). Imperfect maintenance. *European Journal of Operational Research* 94, pp. 425-438.

Weber, A. & Thomas, R. (2005). *Key performance indicators: measuring and managing the maintenance function*. Consultado em 10/08/2014, disponível em <http://www.plant-maintenance.com/articles/KPIs.pdf>.

Weinstein, L., Vokurka, R. J. & Graman, G. A. (2009). Costs of quality and maintenance: Improvement approaches. *Total Quality Management* Vol. 20, No. 5, pp. 497–507.

Wendler, R. (2012). The maturity of maturity model research: A systematic mapping study. *Information and Software Technology*, Vol. 54, pp. 1317-1339.

Wilson, A. (1999). Asset management and maintenance strategy. *Maintenance and Asset Management*, Vol. 14, No. 1, pp. 3-10.

Wireman, T. (1992). *Total Productive Maintenance - An American Approach*. First edition. New York: Industrial Press Inc., 206p.

Wireman, T. (2005). *Developing performance indicators for managing maintenance*. Second edition. New York - NY. Industrial Press Inc., 250p.

Wireman, T. (2010). *Benchmarking Best Practices in Maintenance Management*. Second edition. New York - NY. Industrial Press Inc., 234p.

Xenos, H. G .P. (2004). *Gerenciando a manutenção produtiva: O caminho para eliminar falhas nos equipamentos e aumentar a produtividade*. Nova Lima: INDG Tecnologia e Serviços Ltda., 302p.

Yeomans, M. & Millington, P. (1997). Getting maintenance into TPM. *Manufacturing Engineer*, Volume 76, Issue 4, pp. 170-173.

Yin, R. (2011). *Applications of case study research*. SAGE Publications, Inc.; third edition, 264p.

Yin, R. (2013). *Case study research: Design and methods*. SAGE Publications, Inc.; fifth edition, 312p.

APÊNDICE I

ESTUDO DE PRÁTICAS DE MANUTENÇÃO ADOTADAS POR EMPRESAS DO POLO INDUSTRIAL DE MANAUS

Questionário

Este questionário pretende identificar as práticas de organização e gestão da manutenção adotada por empresas do polo industrial de Manaus relativamente aos seus equipamentos produtivos.

Esse estudo insere-se num projeto que visa definir diferentes níveis de maturidade nesta área e identificar os fatores determinantes para alcançar níveis superiores.

Sempre que possível este questionário deverá ser preenchido por pessoas ligadas à área de manutenção da unidade.

(Leia atentamente as informações abaixo e indique aquela que traduz a realidade das atividades de manutenção da empresa. Os dados serão tratados de forma *confidencial*).

Secção I - Informação Geral

1. Qual seu cargo atual na empresa?

- Diretor de Produção Gerente de Manutenção Chefe de Manutenção Supervisor de Manutenção
 Outro

2. Indique o sector de atividade da empresa.

- Eletroeletrônico Alimentar Automobilística Metalúrgico/Metalomecânico Têxtil
 Madeiras e derivados Componentes para indústria automotora
 Outro. Especifique qual:

3. Indique o número de colaboradores que a empresa possui.

- Menos de 50 51 - 100 101 - 500 501 - 1000 1001 - 2000 Mais de 2000

4. Com respeito à origem da empresa, a mesma é:

- Nacional
 Joint venture com empresa internacional
 Membro de um grupo internacional

5. Com respeito ao número de equipamentos, a empresa possui sob a responsabilidade da área de manutenção:

- Menos de 20 21 - 50 51 - 100 101 - 200 200 - 400 Mais de 500

Secção II - Gestão da Manutenção

Nesta seção pretende-se identificar as técnicas, estratégias e ferramentas de gestão utilizadas pela manutenção.

6. A manutenção dos equipamentos produtivos é vista como um fator estratégico dentro da organização.

- Discordo totalmente Discordo Indiferente Concordo Concordo totalmente

7. Com respeito a serviços subcontratados podemos afirmar que:

- Não se subcontratam serviços
- Abrange apenas alguns equipamentos e sistemas
- Abrange cerca de 25% dos equipamentos
- Abrange cerca de 50% dos equipamentos
- Abrange cerca de 75% dos equipamentos
- Abrange próximo de 100% (ou 100%) dos equipamentos

8. No caso de adoção de serviços subcontratados, estes são destinados a (caso necessário, marque mais de uma opção):

- Certas atividades corretivas
- Todas as atividades corretivas do equipamento
- Certas atividades preventivas
- Todas as atividades preventivas do equipamento
- Outra. Qual?

9. Que percentagem dos serviços subcontratados é realizada pelo fabricante do equipamento?

- 0 a 20% 21 - 40% 41 - 60% 61 - 80% 81 - 100%

10. Indique o número de membros da equipa de manutenção da empresa.

- Menor que 5 membros (por favor, indique o número):
- Entre 5 a 10 membros
- Entre 10 e 20 membros
- Entre 20 e 40 membros
- Maior que 40 membros (por favor, indique o número):

11. Selecione na lista seguinte os tipos de atividades de manutenção que são adotados pela empresa.

- Corretiva não planejada (manutenção efetuada depois de a falha ocorrer)
- Corretiva planejada (manutenção planejada para o momento mais oportuno depois da falha ocorrer)
- Preventiva (atuação realizada de forma a evitar a falha ou queda no desempenho, obedecendo a um plano previamente elaborado, baseado em intervalos definidos de tempo)
- Preditiva (atuação realizada com base na observação de parâmetros de condição ou desempenho, cujo acompanhamento obedece a uma sistemática)
- Detectiva (atuação que visa detectar falhas ocultas ou não perceptíveis)

12. Que percentagem de tempo a equipa de manutenção dedica a atividades preventivas?

- 0 a 20% 21 - 40% 41 - 60% 61 - 80% 81 - 100%

13. Com respeito às metodologias de auxílio à gestão de manutenção, indique aquela que está relacionada com o modelo de gestão de manutenção da empresa (se for necessário, indique mais do que uma opção)

- Manutenção Produtiva Total (TPM)
- Manutenção Centrada na Confiabilidade (RCM)
- Manutenção Baseada no Risco (RBM)
- Engenharia de Manutenção
- Outro: Nenhuma. Empresa adota estratégia corretiva

14. Indique a frequência de utilização das seguintes técnicas na área de manutenção da empresa, assinalando a opção mais adequada.

1. Nunca; 2. Raramente; 3. Ocasionalmente; 4. Frequentemente; 5. Muito frequentemente

TÉCNICA PARA ANÁLISE E PREVENÇÃO DE FALHA	FREQUÊNCIA				
	1	2	3	4	5
FMEA (ou FMECA) (Failure Mode and Effect Analysis)	<input type="radio"/>				
Ciclo PDCA (Plan, Do, Chek, Act)	<input type="radio"/>				
RCA (Root Cause Analysis)	<input type="radio"/>				
FTA (Fault Tree Analysis)	<input type="radio"/>				
5S	<input type="radio"/>				
8D	<input type="radio"/>				
Análise da Confiabilidade	<input type="radio"/>				
Árvore de Acontecimentos (AA)	<input type="radio"/>				
Hazard Analysis (Análise de Risco da Falha)	<input type="radio"/>				
RDB (Diagrama Blocos de Fiabilidade)	<input type="radio"/>				
Diagrama de Causa e Efeito (Diagrama de Ishikawa)	<input type="radio"/>				
5 Porquês	<input type="radio"/>				
Outra:	<input type="radio"/>				

15. Na aquisição de novos equipamentos, a confiabilidade, manutibilidade e custos de ciclo de vida são tidos em consideração

Discordo totalmente Discordo Indiferente Concordo Concordo totalmente

16. A seguir apresenta-se uma lista de potenciais dificuldades encontradas na área da manutenção. Indique qual, ou quais, refletem as dificuldades que a área da manutenção da empresa enfrenta diariamente.

- Orçamento limitado
- Número de técnicos é insuficiente
- Baixa motivação da equipe técnica
- Baixa escolaridade da equipe técnica
- Falta de formação da equipe técnica
- Baixa competência da equipe técnica

- Atraso nos serviços subcontratados
- Sistema de gestão de informação inadequado
- Falta de tempo
- Não cumprimento da data de entrega por parte de fornecedores de peças
- Não cumprimento da data de entrega por parte de fornecedores de materiais
- Peças de substituição insuficiente em armazém
- Equipamentos/ferramentas de manutenção insuficientes ou inadequados
- Falta de apoio administrativo
- Outro:

Secção III - Indicadores para a Manutenção

Nesta seção pretende-se identificar o grau de utilização de indicadores de desempenho no âmbito da gestão da manutenção.

17. O desempenho da área de manutenção é gerenciado com base em indicadores de desempenho?

Sim Não

18. Os indicadores de manutenção são divulgados junto da equipa técnica?

Sim Não

19. Dentre os indicadores na tabela abaixo, indique aqueles que são utilizados para auxiliar a gestão da manutenção, assinalando a opção mais adequada.

1. Nunca; 2. Raramente; 3. Ocasionalmente; 4. Frequentemente; 5. Muito frequentemente

INDICADORES DE DESEMPENHO	FREQUÊNCIA				
	1	2	3	4	5
MTBF (tempo médio entre avarias) por máquina	<input type="radio"/>				
MTBF (tempo médio entre avarias) por linha/área	<input type="radio"/>				
MTTR (tempo médio de reparação) por máquina	<input type="radio"/>				
MTTR (tempo médio de reparação) por linha/área	<input type="radio"/>				
Disponibilidade (mede a percentagem de tempo de bom funcionamento em relação ao tempo total)	<input type="radio"/>				
Downtime (tempo de parada)	<input type="radio"/>				
Indicadores econômicos (custos totais com manutenção)	<input type="radio"/>				
MWT (tempo médio de espera antes de iniciar uma reparação)	<input type="radio"/>				
OEE (eficiência global do equipamento)	<input type="radio"/>				
Backlog (tempo necessário para concluir os serviços pendentes)	<input type="radio"/>				
Outros:	<input type="radio"/>				

20. Com respeito às afirmativas na tabela abaixo, assinale o grau de concordância.

1. Discordo totalmente; 2. Discordo; 3. Indiferente; 4. Concordo; 5. Concordo totalmente

INDICADORES DE DESEMPENHO	FREQUÊNCIA				
	1	2	3	4	5
O tempo de paragem devido às avarias dos equipamentos é considerado elevado	<input type="radio"/>				
O tempo de paragem dos equipamentos tem diminuído como resultado do esforço nesta área	<input type="radio"/>				
O tempo de resolução de avarias (tempo de reparação) é considerado elevado	<input type="radio"/>				
O tempo de espera pelo início de uma reparação é considerado elevado	<input type="radio"/>				
A subcontratação ocorre como resultado de falta de capacidade interna	<input type="radio"/>				

Secção IV - Procedimentos e Planos de Manutenção

Nesta seção pretende-se identificar o grau de organização e planeamento da manutenção na empresa.

21. Relativamente às atividades preventivas, a empresa faz um planeamento:

Anual Mensal Semanal Diário Outro. Qual?

22. Há definição de prioridades na realização de tarefas de manutenção preventiva?

Sim Não

23. Dentre as atividades abaixo, indique aquelas que são utilizadas para auxiliar a gestão da manutenção da empresa. Assinale o grau de frequência da realização das atividades indicadas.

1. Nunca; 2. Raramente; 3. Ocasionalmente; 4. Frequentemente; 5. Muito frequentemente

ATIVIDADES	FREQUÊNCIA				
	1	2	3	4	5
Os operadores realizam algumas ações de manutenção, tais como: limpeza, lubrificação, inspeção e reparações simples.	<input type="radio"/>				
A área da manutenção analisa os dados de falha e implementa melhorias para evitar as falhas ou mitigar os seus efeitos.	<input type="radio"/>				
Rotatividade de atividades.	<input type="radio"/>				

24. Existem procedimentos escritos que descrevem as ações preventivas a realizar?

- Não existem
- Existem alguns
- Existe para a maioria das ações
- Existem para todas as ações

25. Com respeito à atualização das atividades de manutenção preventiva, podemos afirmar que:

- As intervenções preventivas a realizar em cada equipamento são apenas aquelas indicadas no manual do
- As intervenções preventivas são revisadas semanalmente
- As intervenções preventivas são revisadas mensalmente
- As intervenções preventivas são revisadas anualmente
- As intervenções preventivas são revisadas periodicamente com base na taxa de falhas

26. A área de manutenção realiza o gerenciamento e o controle das atividades de manutenção, usando:

- Software de gestão da manutenção
- Planilhas eletrônicas
- Software de gestão da manutenção e planilhas eletrônicas
- Apenas registros manuais

(Se a empresa não possui CMMS, prossiga para a questão 29).

27. O software de gestão da manutenção utilizado pela empresa foi:

- Desenvolvido pelos quadros da empresa
- Desenvolvido por outra empresa especificamente para a organização

Adquirido no mercado (software de gestão da manutenção standard já existente no mercado)

28. Com respeito às funcionalidades do software de gestão da manutenção, indique a frequência de utilização de cada funcionalidade indicada na tabela abaixo. Se o software não possuir a funcionalidade indicada, selecione a opção NP (Não Possui).

1. Nunca; 2. Raramente; 3. Ocasionalmente; 4. Frequentemente; 5. Muito frequentemente; NP. Não Possui

FUNCIONALIDADE CMMS	FREQUÊNCIA					
	1	2	3	4	5	NP
Registo de equipamentos e respetivas peças ou grupos	<input type="radio"/>					
Geração e controle de ordens de serviço	<input type="radio"/>					
Histórico de reparo de equipamentos	<input type="radio"/>					
Histórico acerca de trabalhos de manutenção preventiva realizados	<input type="radio"/>					
Histórico acerca de trabalhos de melhoria dos equipamentos realizados	<input type="radio"/>					
Planeamento anual das tarefas preventivas	<input type="radio"/>					
Planeamento mensal das tarefas preventivas	<input type="radio"/>					
Planeamento semanal das tarefas preventivas	<input type="radio"/>					
Alocação de recursos humanos às tarefas de manutenção	<input type="radio"/>					
Controle de inventário de peças e materiais	<input type="radio"/>					
Planeamento de compra de peças e materiais	<input type="radio"/>					
Registo de instruções de trabalho	<input type="radio"/>					
Determinação de indicadores	<input type="radio"/>					
Método de auxílio à análise de falhas	<input type="radio"/>					
Orçamentação da manutenção	<input type="radio"/>					
Análise de dados de monitorização da condição do equipamento	<input type="radio"/>					

29. A gestão de peças necessárias às atividades de manutenção segue qual das políticas abaixo?

- Peças sob consignação
- Possui peças em estoque próprio
- Parte sob consignação e parte em estoque próprio

30. A gestão de materiais de consumo das atividades de manutenção segue qual das políticas abaixo?

- Material consumível sob consignação
- Possui material consumível em estoque próprio
- Parte sob consignação e parte em estoque próprio

Secção V - Equipa de Manutenção

Nesta seção pretende-se avaliar o grau de organização, desenvolvimento e capacitação da equipa de manutenção da organização.

31. Indique quais dos seguintes perfis fazem parte da estrutura do departamento de manutenção da empresa.

- Gerente Chefe Supervisor Técnico Auxiliar Técnico

32. Com respeito à escolaridade da equipa de manutenção, que percentagem possui nível superior?

- 0 a 20% 21 - 40% 41 - 60% 61 - 80% 81 - 100%

33. Relativamente ao treinamento da equipa de manutenção, assinale com a frequência de realização das atividades indicadas na tabela.

1. Nunca; 2. Raramente; 3. Ocasionalmente; 4. Frequentemente; 5. Muito frequentemente

FORMAÇÃO	FREQUÊNCIA				
	1	2	3	4	5
Os técnicos de manutenção recebem treinamento no processo produtivo e modo de operação	<input type="radio"/>				
Os técnicos de manutenção recebem treinamento em equipamentos	<input type="radio"/>				
Os técnicos recebem treinamento em metodologias, técnicas e ferramentas de auxílio à gestão da manutenção	<input type="radio"/>				

34. Existe um plano de treinamento que permite o desenvolvimento profissional dos técnicos de manutenção?

- Sim Não

35. A equipa técnica sabe interpretar os valores dos indicadores de gestão adotados pela área de manutenção?

- Discordo totalmente Discordo Indiferente Concordo Concordo totalmente

36. Qual o percentual de membros da equipa de manutenção que recebeu treinamento no último ano?

- 0 a 20% 21 - 40% 41 - 60% 61 - 80% 81 - 100%

Muito obrigado pela sua colaboração neste estudo. É de nossa responsabilidade garantir que os dados serão tratados com a máxima confidencialidade e, em nenhum momento, o nome da empresa, ou qualquer outra informação que possa identificá-la, serão mencionados.

No caso de pretender ser informado dos resultados deste estudo, por favor, indique o seu endereço de correio eletrónico.

E-mail:

Pode contactar os autores do estudo através de:

Mobile: +55 92 8191-8036

E-mail: maoliveira.0312@gmail.com; maoliveira_0312@hotmail.com

**Marcelo Albuquerque de Oliveira
(Aluno do Programa Doutoral em Engenharia Industrial e Sistemas - Universidade do Minho)**

ANEXO I

Tabela 55 - Conceitos associados à RBM.

Visão de alguns autores sobre termos aplicados à Fiabilidade						
Conceito	Lafraia (2001)	Sales (2008)	Fogliatto e Ribeiro (2009)	Pereira e Sena (2012)	Pinto (2013)	NP EN 13306 - 2007
Fiabilidade	Probabilidade de que um componente, equipamento ou sistema exerçerá sua função sem falhas, por um período de tempo previsto, sob condições de operação especificadas.	Uma medida da capacidade, de uma peça ou equipamento, onde se espera que tal opere sem falha quando colocado em serviço.	A confiabilidade de um item corresponde à sua probabilidade de desempenhar adequadamente o seu propósito especificado, por um determinado período de tempo e sob condições ambientais predeterminadas (Leemis, 2005).	Aptidão de um bem para cumprir uma função requerida sob determinadas condições, durante um dado intervalo de tempo (NP EN13306:2007).	Probabilidade que um equipamento tem em continuar a respeitar as especificações para que foi concebido, num dado período de tempo e em condições de operação bem definidas.	Aptidão de um bem para cumprir uma função requerida sob determinadas condições, durante um dado intervalo de tempo.
Disponibilidade	É a probabilidade de que um sistema esteja em condição operacional no instante t.	A probabilidade que o dispositivo está operando satisfatoriamente em qualquer tempo, onde o tempo total inclui o tempo de operação, o tempo ativo do reparo, o tempo logístico e o tempo administrativo.	A capacidade de um item, mediante manutenção apropriada, desempenhar sua função requerida em um determinado instante de tempo ou em um período de tempo predeterminado.	Define a 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.	É a fração de tempo de vida do equipamento em que este funciona dentro das especificações.	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.
Manutibilidade (Mantenabilidade)	É uma característica de projeto que define a facilidade de manutenção, o tempo de manutenção, os custos e as funções que um determinado item executa.	A probabilidade de reparar o dispositivo em um dado sistema em um tempo determinado.	A capacidade de um item ser mantido ou recolocado em condições de executar suas funções requeridas, mediante condições preestabelecidas de uso, quando submetido à manutenção sob condição predeterminadas e usando recursos e procedimentos padrão.	É a aptidão de um bem, em condições determinadas, para manter-se ou ser recolocado num estado no qual possa executar a função requerida quando a manutenção é executada sob condições específicas e utilizando procedimentos e recursos pré-definidos.	É definida como sendo a facilidade, a eficiência, a segurança e o custo com que as ações de manutenção são executadas para restaurar a condição inicial de bom funcionamento de um equipamento ou sistema.	Aptidão de um bem, sob condições de utilização definidas, para ser mantido ou restaurado, de tal modo que possa cumprir uma função requerida, quando a manutenção é realizada em condições definidas, utilizando procedimentos e recursos prescritos.

ANEXO II

Tabela 56 - Monitoração de partículas.

Técnicas de Monitoramento: Monitoração de Partículas		
Técnica	Condição Monitorada	Intervalo P-F
Ferrografia	Desgaste, fadiga e partículas de corrosão	Vários meses
Ferrografia analítica	Desgaste, fadiga e partículas de corrosão	Vários meses
Ferrografia de leitura direta (DRF)	Desgaste da máquina, fadiga e partículas corrosivas	Vários meses
Contador de partículas por escurecimento de tela (diferencial de pressão)	Partículas em sistemas de óleo lubrificante e hidráulicas provocadas por desgaste, fadiga, corrosão e contaminadores	Semanas a meses
Técnica de bloqueio de poros (redução do fluxo)	Partículas em óleo lubrificante e hidráulicas provocadas por desgaste, fadiga, corrosão e contaminadores	Semanas a meses
Contador de partículas de extinção de luz	Partículas em óleo lubrificante e hidráulicas provocadas por desgaste, fadiga, corrosão e contaminadores	Semanas a meses
Contador de partículas de luz difusa	Partículas em óleo lubrificante e hidráulicas provocadas por desgaste, fadiga, corrosão e contaminadores	Semanas a meses
Sensor ferromagnético em tempo real	Partículas ferromagnéticas provocadas por desgaste ou fadiga	Semanas a meses
Sensores de partículas de metal em geral	Partículas ferrosas e não ferrosas devido ao desgaste e fadiga	Semanas a meses
Filtragem graduada	Partículas em óleo lubrificante e hidráulicas causadas por desgaste, fadiga, corrosão e contaminadores	Semanas a meses
Deteção magnética de lascas	Desgaste e fadiga	Dias a semanas
Teste do borrão	Desgaste de metais, fadiga, partículas de corrosão e borra	Dias a poucas semanas
Teste da mancha	Desgaste de metais, fadiga, partículas de corrosão e borra	Dias a semanas
Sedimento (ASTM D-1698)	Sedimento inorgânico de contaminação, sedimento orgânico da deterioração ou contaminação do óleo; borra solúvel da deterioração do óleo	Várias semanas
Deteção de luz e enquadramento (DLE)	Presença de partículas na atmosfera	Variável e depende da aplicação

(adaptado de Moubray, 2000; Nepomuceno, 1989).

Tabela 57 - Monitoração de temperatura..

Técnicas de Monitoramento: Monitoração de Temperatura		
Técnica	Condição Monitorada	Intervalo P-F
Scanners infravermelhos	<u>Elétricas</u> : relações de perda entre corrente e resistência, conexões oxidadas ou desgastadas; mau funcionamento do próprio componente; <u>Mecânicas</u> : calor gerado por fricção causada por rolamentos defeituosos, lubrificação inadequada, desalinhamento, mau uso e desgaste normal	Poucos dias a meses
Arranjo de planos focais (FPA)	<u>Elétricas</u> : relações de perda entre corrente e resistência, conexões oxidadas ou desgastadas; mau funcionamento do próprio componente; <u>Mecânicas</u> : calor gerado por fricção causada por rolamentos defeituosos, lubrificação inadequada, desalinhamento, mau uso e desgaste normal	Poucos dias a meses
Termometria de loop de fibra	Variações de temperatura causadas por deterioração de isolamento, vazamentos, sistemas de refrigeração bloqueados	De horas a meses
Pigmento indicativo de temperatura	Temperatura de superfície	Semanas a meses

(adaptado de Moubray, 2000; Nepomuceno, 1989).

Tabela 58 - Monitoração dinâmica.

Técnicas de Monitoramento: Monitoração Dinâmica		
Técnica	Condição Monitorada	Intervalo P-F
Análise de vibrações de banda larga	Mudanças nas características de vibração causada por fadiga, desgaste, desbalanceamento, desalinhamento, folgas mecânicas, turbulência	Aviso limitado da falha
Análise de bandas oitavas	Filtros de oitavas adjacentes e de frações de oitava dividem o espectro de frequência em uma série de bandas de interesse	Dias a semanas
Análise de largura de banda constante	Mudanças nas características das vibrações causadas pela fadiga, desgaste, desbalanceamento, desalinhamento, folgas mecânicas e turbulências, identificar harmônicos múltiplos e bandas laterais	De semana a meses
Análise largura de banda com percentual constante	Choque e vibração	Várias semanas a meses
Análise da forma de onda no tempo	Lascas, trincas, dentes de engrenagens quebrados, cavitacão de bombas, desalinhamento, folgas mecânicas, excentricidade	De semana a meses
Análise de tempo síncrono médio	Desgaste, fadiga, ondas de força emitidas como resultado de impacto entre metais, microsoldagens	Várias semanas a meses
Análise de frequência	Mudanças nas características de vibração causadas por fadiga, desgaste, desbalanceamento, desalinhamento, turbulência	Várias semanas a meses
Cepstrum	Desgaste causando harmônicos e bandas laterais no espectro de vibração	Várias semanas a meses
Demodulação de amplitude	Sons característicos de mancais mascarados por ruídos, trincas em pistas de rolamentos, excêntricos ou engrenagens danificadas, folgas mecânicas	Várias semanas a meses
Análise do valor de pico	Ondas de tensão causadas pelos impactos entre metais ou corte de metal, tensões de trincas ou desgastes, lascas e desgastes abrasivos	Várias semanas a meses
Spike energy	Bombas rodando a seco, cavitacão, mudança de fluxo, mancal mal montado, desgaste do mancal provocando contato entre metais, fendas superficiais nos dentes das engrenagens, fluxo de vapor ou ar de alta pressão, ruídos em válvulas de controlo, lubrificação insuficiente do mancal	Várias semanas a meses
Análise de proximidade	Desalinhamento, turbulência do óleo, atritos, eixos desbalanceados/fletidos, ressonância, polias e engrenagens excêntricas	Dias a semanas
Monitoração por pulso de choque	Deterioração de superfície e falta de lubrificação causam ondas de choque mecânico	Semanas a vários meses
Análise ultrassónica	Mudanças nos padrões sonoros causados por vazamentos, desgaste, fadiga ou deterioração	Variável e depende da natureza da descontinuidade
Curtose	Pulsos de choque	Várias semanas a meses
Emissão acústica	Deformação plástica e formação de trincas causadas pela fadiga, tensão e desgaste	Várias semanas a meses

(adaptado de Moubray, 2000; Nepomuceno, 1989).

Tabela 59 - Monitoramento químico.

Técnicas de Monitoramento: Monitoramento Químico		
Técnica	Condição Monitorada	Intervalo P-F
Espectroscopia de emissão atómica (EA)	Desgaste dos metais, tais como ferro, alumínio, cromo, cobre, chumbo, estanho, níquel e prata; aditivos de óleo contendo boro, zinco, fósforo, cálcio, magnésio ou bário; contaminadores externos como silício; corrosão	Semanas a meses
Eléktrodo de disco rotativo	Rastreia níveis de desgaste de metais, contaminadores externos e níveis de elementos aditivos nos lubrificantes e graxas	Semanas a meses
Plasma acoplado indutivamente (PAI)	Desgaste de metais de peças em movimento como ferro, alumínio, cromo, cobre, chumbo, estanho, níquel e prata; os aditivos de óleo contêm boro, zinco, fósforo, cálcio, magnésio ou bário; contaminadores externos como silício; corrosão	Semanas a meses
Força dielétrica (ASTM D-877 e D-1816)	A capacidade do óleo isolante de suportar a tensão elétrica causada por contaminadores condutivos, como rebarbas metálicas, fibras ou água livre	Vários meses
Tensão interfacial (ASTM D-971)	Presença de compostos hidrofílicos - um composto solúvel em água ou que atrai água para a sua superfície	Meses
DLEAD (DLE por absorção diferencial)	A composição química e a dispersão dos gases na atmosfera	Minutos a meses
Espectroscópio infravermelho de transformada de Fourier (FT-IR)	Deterioração, oxidação, contenção de água e consumo natural de aditivos anti desgaste em óleos minerais e lubrificantes sintéticos	Semanas a meses
Espectroscopia Infravermelha	A presença de gases como hidrogênio, hexafluoreno de enxofre, nitrogênio, metano, monóxido de carbono e etileno; degradação do fluido	Depende da aplicação
Cromatografia de gás	Gases emitidos como resultado de falhas (uma variedade está presente nos óleos elétricos, com destaque para nitrogênio, oxigênio, dióxido de carbono, monóxido de carbono, metano, etano, etileno, hidrogênio e acetileno) que indicam superaquecimento nos enrolamentos - dióxido de carbono e monóxido de carbono; aquecimento no isolamento - dióxido de carbono e monóxido de carbono e metano; indicam descarga de efeito corona - hidrogênio, etano e metano; arco interno - metano	Altamente variável e depende da natureza da falha
Espectroscopia ultravioleta e de absorção visível	Mudanças nas propriedades dos óleos (alcalinidade, acidez e insolúveis)	Vários meses
Ativação de camada fina	Desgaste	Meses
Microscópio analisador eletrónico	Superfícies fraturadas pela presença de elementos não usuais	Depende da aplicação
Espectroscopia de scanning de elétrons de Auger	Superfícies fraturadas pela presença de elementos não usuais, corrosão e escalas de oxidação	Depende da aplicação
Monitoração de corrosão eletroquímica	Corrosão de material embutido em concreto	Meses
Analisaadores de emissão de descarga (análise dos quatro gases)	Eficiência de combustão pela medição das concentrações de oxigênio, monóxido de carbono, dióxido de carbono e hidrocarbonetos na emissão de gases; vazamentos de descarga	Semanas a meses
Titulação com indicador de coloração (ASTM D-974)	Deterioração do lubrificante pela determinação dos níveis de acidez e alcalinidade em uma amostra de óleo	Semanas a meses
Titulação potenciométrica TAN/TBN (ASTM D-664)	Deterioração do lubrificante pela determinação do nível de acidez da amostra	Semanas a meses
Titulação potenciométrica TBN (ASTM D-2896)	Deterioração de lubrificante pela medição da alcalinidade	Semanas a meses
Fator de potência (ASTM D-924)	Perdas dielétricas em óleos isolantes elétricos causados por contaminação e deterioração do óleo	Várias semanas
Teste de titulação Karl Fischer (ASTM D-1744)	Água em óleo	Dias a semanas
Monitor de humidade (Cintilação de vapor induzido)	Água em óleo	Várias semanas
Teste do estalo (Sentidos humanos)	Água em óleo	Dias a semanas
Teste de estalo (Detector de áudio)	Água em óleo	Semanas
Teste de brilho e luz	Água em óleo	Vários dias

(adaptado de Moubray, 2000; Nepomuceno, 1989).

Tabela 60 - Monitoramento efeitos físicos.

Técnicas de Monitoramento: Monitoramento dos Efeitos Físicos		
Técnica	Condição Monitorada	Intervalo P-F
Líquidos penetrantes de coloração	Descontinuidade de superfície ou trincas devido à fadiga, desgaste, contração da superfície, retificação, tratamento térmico, fadiga por corrosão, deformação por corrosão e fragilização por hidrogênio	Dias a várias semanas
Líquido penetrante fluorescente eletrostático	Descontinuidade de superfície ou trincas devido à fadiga, desgaste, contração da superfície, retificação, tratamento térmico, fadiga por corrosão, deformação por corrosão e fragilização por hidrogênio	Dias a várias semanas
Inspeção de partícula magnética	Trincas superficiais ou próximas da superfície e descontinuidades causadas por fadiga, desgaste, laminações, inclusões, contração da superfície, esmerilhamento, tratamento térmico, fragilização por hidrogênio, sobreposição, costuras, fadiga por corrosão ou deformação por corrosão	Dias a meses
Filme magnético	Descontinuidade da superfície e trincas causadas por fadiga, desgaste, contração da superfície, esmerilhamento, tratamento térmico, fragilização por hidrogênio, fadiga por corrosão, deformação por corrosão, sobreposição e costuras	Semanas a meses
Ultrassom (Técnica de pulso de eco)	As descontinuidades de superfície e sub-superfícies causadas por fadiga, tratamento técnico, inclusões, falta de penetração e porosidade de gás em soldas, laminação; A espessura dos materiais sujeito ao desgaste e corrosão	Semanas a meses
Ultrassom (Técnica de transmissão)	As descontinuidades de superfície e sub-superfícies causadas por fadiga, tratamento técnico, inclusões, falta de penetração e porosidade de gás em soldas, laminação; A espessura dos materiais sujeito ao desgaste e corrosão	Semanas a meses
Ultrassom (Técnica de ressonância)	As descontinuidades de superfície e sub-superfícies causadas por fadiga, tratamento técnico, inclusões, falta de penetração e porosidade de gás em soldas, laminação; A espessura dos materiais sujeito ao desgaste e corrosão; Testar a força de ligação entre superfícies finas	Semanas a meses
Ultrassom (frequência modulada)	As descontinuidades de superfície e sub-superfícies causadas por fadiga, tratamento técnico, inclusões, falta de penetração e porosidade de gás em soldas, laminação; A espessura dos materiais sujeito ao desgaste e corrosão	Semanas a meses
Teste da placa metálica	Corrosão e erosão geral e localizada	Vários meses
Teste da corrente contrária	Descontinuidade da superfície e sub-superfície causadas por desgaste, fadiga e deformação; detecção das mudanças dimensionais através de desgaste; fadiga e corrosão; determinação da dureza do material	Várias semanas
Radiografia de Raio-X	Descontinuidade de superfícies causadas por deformação, fadiga, inclusões, falta de penetração em soldas, porosidade gasosa, corrosão intergranular e corrosão por deformação; Descontinuidade de semicondutores	Várias semanas
Fluoroscopia radiográfica de Raio-X	Descontinuidade de superfícies causadas por deformação, fadiga, inclusões, falta de penetração em soldas, porosidade gasosa, corrosão intergranular e corrosão por deformação; Descontinuidade de semicondutores	Várias semanas
Borescópio rígido	Trincas superficiais e suas orientações, películas de oxidação, defeitos de soldas, corrosão, desgaste, fadiga	Várias semanas
Corpo de prova rígido de luz fria	Trincas superficiais e suas orientações, películas de oxidação, defeitos de soldas, corrosão, desgaste, fadiga	Várias semanas
Endoscopia de dispositivo profundo	Trincas superficiais e suas orientações, películas de oxidação, defeitos de soldas, corrosão, desgaste, fadiga	Várias semanas
Fibroscópio de visão total	Trincas superficiais e suas orientações, películas de oxidação, defeitos de soldas, corrosão, desgaste, fadiga	Várias semanas
Fractografia eletrônica	O desenvolvimento de trincas por fadiga	Depende da aplicação
Coloração (ASTM D-1524)	Coloração e condição do óleo	Semanas a meses
Aparência do óleo	Oxidação do óleo, contaminação por água, partículas de desgaste de metal e contaminação de partículas	Dias a semanas
Odor do óleo	Oxidação do óleo	Dias a semanas
Extensómetros	Deformação	Semanas a meses
Monitoração da viscosidade	Mudanças na viscosidade causadas por superaquecimento, falha de aditivo, lubrificantes misturados, diluição de combustíveis e glicol, oxidação e contaminação de particulados	Semanas a meses
Comparador de bola em queda	Viscosidade de óleo	Semanas a meses
Viscosidade cinemática (ASTM D-445)	Viscosidade de óleo	Semanas a meses

(adaptado de Moubray, 2000; Nepomuceno, 1989).

Tabela 61 - Monitoração de efeitos elétricos.

Técnicas de Monitoramento: Monitoração de Efeitos Elétricos		
Técnica	Condição Monitorada	Intervalo P-F
Resistência de polarização linear (Corrator)	Taxas de corrosão em sistemas expostos a fluidos corrosivos eletricamente condutivos	Vários meses
Resistência elétrica (Corrosímetro)	Perda integrada de metal	Como na resistência de polarização linear
Monitoração de potencial	Estados corrosivos (ativo ou passivo) tais como trincas de corrosão por deformação, perfuração por corrosão, corrosão de fase seletiva, ataque de impacto	Depende do material e da taxa de corrosão
Teste de fator de potência	Perda de potência nos sistemas de isolamento causados por vazamentos para a terra, umidade nos cabos	Vários meses
Megômetro e outros geradores de voltagem	Resistência de isolamento	De meses a anos
Teste de tempo de desligamento	Curso do contato do disjuntor, velocidade, atrito e retorno	Semanas a meses
Taxa de resistência dos contatos dos disjuntores	Deterioração e desgaste de contato de disjuntor	Várias semanas
Análise de circuito de motor (MCA)	Mudanças no trajeto da resistência do condutor causado por conexões folgadas ou desgastadas, perda de cobre no estator, porosidade e excentricidade de rotor, giro do estator, curtem da bobina e da fase; limpeza dos enrolamentos e resistência a terra	Várias semanas a meses
Comparação de sobretensão elétrica	Deterioração de isolamento volta a volta e fase a fase e circuito aberto ou reverso em conexão com uma ou mais bobinas ou grupos de bobinas	De semanas a meses, dependendo do ciclo de frequência do motor e partidas sob condição de carga
Análise da característica da corrente do motor	Barra(s) do rotor quebrada ou anéis em curto, alta resistência entre barras e anéis, folga de ar desigual entre o rotor e o estator, mau posicionamento do rotor, rotor deteriorado ou em curto ou laminatura do núcleo do estator	Semanas a meses
Análise de característica de potência	Rotores, barras quebradas, anéis finais trincados ou quebrados, juntas de encaixe defeituosas, rotores arcados ou fletidos; Estatores, lâminas em curto, excentricidade; Fase simples, equilíbrio de corrente de fase e voltagem, desequilíbrio resistivo e indutivo; Variações de torque, desgaste e deterioração das folgas das máquinas, restrições ao fluxo ou saídas da máquina, alinhamento da maquinaria; Eficiência da maquinaria	Semanas a meses
Descarga parcial	Falha na isolamento	Semanas a meses
Teste de alta potência	Deterioração do isolamento do aterramento do enrolamento do motor	Várias semanas
Análise do fluxo magnético	Barras do rotor quebradas, fases desbalanceadas e anomalias nos enrolamentos do estator, tais como curtos volta a volta, fase a fase e fase para terra	Semanas a meses
Teste de impedância de bateria	Deterioração da célula	Várias semanas

(adaptado de Moubray, 2000; Nepomuceno, 1989).

ANEXO III

Tabela 62 - Soluções LCM.

Soluções LCM		
Soluções	Objetivo	Aplicação
ARF ou Hazop	<i>Análise de Risco de Falha - ARF ou Análise de Risco (Hazard Analysis)</i> , é um método que tem por finalidade a identificação de potenciais causas de falha, muito embora a ARF encontre sua maior aplicação na fase "após a falha".	A ARF, de um modo geral, consta dos seguintes aspectos principais: 1. Identificação das potenciais causas de falha e sua classificação segundo o grau de criticidade; 2. Estabelecimento das condições sob as quais as falhas apresentam a maior probabilidade de ocorrência e/ou maior gravidade; 3. Especificação das ações preventivas ou curativas para minimização das consequências das falhas.
Cinco Porquês (5W)	Ferramenta de melhoria contínua aplicada para descobrir a causa-raiz de um problema, desafio ou oportunidade, consistindo em perguntar porquê até que a verdadeira causa seja identificada. Não foca o defeito, mas sim a origem dos problemas, de modo que sejam apontadas as soluções dos mesmos.	Identificar o problema e perguntar o que aconteceu e repetir as perguntas até que a causa seja identificada.
Diagrama SIPOC	São úteis no início de um projeto para fornecer informações antes do início da intervenção, permitindo a reavaliação do que tem sido feito.	Para análise de entradas, saídas e clientes da manutenção.
Eventos RIE	Ou Kaizen bursts, são iniciativas de curta duração que visam obter um rápido retorno.	Para realizar rápidas mudanças e é organizado em três partes, a saber: planeamento, execução e avaliação de resultados.
Fórmula 5W2H	Permite procurar a resposta a uma sequência de questões importantes de modo a obter dividendos na resolução de problemas, podendo ser aplicada em situações em que a manutenção seja o "dono" natural do problema ou em situações em que a manutenção é um mero participante da resolução do problema.	Aplicação dos passos: Quem (who), Onde (When), O quê (What), Quando (When), Porquê (Why), Como (How) e Quanto (How much).
FRACAS	FRACAS - Failure Reporting, Analysis and Corrective Action System, é destinada para a gestão de incidentes para tratamento de falhas e ações corretivas. Permite implementar um processo de ciclo fechado para responder a falhas relatadas, identificar a causa raiz da falha e coordenar as atividades necessárias para efetivamente resolver problemas; Criar uma base de conhecimento de lições aprendidas que podem ser um recurso para o apoio ao cliente e os esforços do projeto futuros, bem como dados de falha de campo que podem ser analisados para identificar questões emergentes, quantificar crescimento da confiabilidade, o plano para falhas esperadas sob garantia, etc.	Aplicação das metodologias 8D (eight disciplines), DMAIC (Define-Measure-Analyze-Improve-Control) e DFSS (design for six sigma).
Gestão Visual	É um processo para apoiar o aumento da eficiência e eficácia das operações tornando as coisas visíveis, lógicas e mais intuitivas.	Sinais visuais, semáforos, marcas pintadas no chão ou paredes, cores diferentes de farda, acompanhamento (Andon).
Kanban	O Sistema Kanban é usualmente composto por quadros e cartões visuais que auxiliam o planeamento da produção e o controle de estoques. De acordo com a quantidade de cartões disponíveis nos quadros, são tomadas as decisões priorização de produção, setup de máquinas e até mesmo de paradas de linha para manutenção.	O sistema kanban aplicado na gestão de materiais e peças de reserva simplificará a gestão, pois desencadeará as necessidades de compra e controlará os níveis de estoques.
Matriz de Competências	Permite mapear o nível de competência e conhecimento da equipa de modo a preparar as estratégias de treinamento e qualificação da mesma. É de relevante importância para a liderança e para a gestão dos recursos humanos da manutenção.	Matriz de conhecimento por membro da equipa. Os gaps identificados nortearão o nível e os treinamentos necessários.
Método 5S	Conjunto de práticas que procuram a redução do desperdício e a melhoria do desempenho das pessoas e processos através de uma abordagem simples que assegure a manutenção das condições ótimas dos locais de trabalho.	Aplicação dos sensores de organização (seiri), arrumação (Seiton), limpeza (Seiso), normalização (Seiketsu) e autodisciplina (Shitsuke).

(adaptado de Pinto, 2013; Almeida, 2011; Assis, 2010; Morais, 2005; Sales, 2008).

Tabela 62 (continuação) - Soluções LCM.

Soluções LCM		
Soluções	Objetivo	Aplicação
Método A3	É um formato usado para registrar, comunicar e reportar informação entre colegas da mesma equipa e entre estes e os elementos da gestão. O formato de papel A3, daí o nome da técnica, é adequado para conter toda a informação necessária sobre um problema ou uma oportunidade.	Através deste formato é possível, de forma sucinta, documentar o que há a fazer numa só página recorrendo a ilustrações gráficas em detrimento de descrições textuais, facilitando a comunicação e agilizando o pensamento, levando os gestores a perceber rapidamente os problemas e os desafios, bem como perceber quem está envolvido a fazer o quê.
Método AA	Árvore de Acontecimentos - AA, é um outro tipo de árvore usada em análise de condição de falha, a qual se constrói indicando-se as possíveis sequências de acontecimentos a partir de um acontecimento iniciador.	Neste tipo de árvore usamos as possíveis consequências, negativas e/ou positivas, dos vários acontecimentos subsequentes à falha. Sua construção é de forma indutiva, onde em cada evento particular induzimos os eventos que, na sequência real dos acontecimentos, poderão ocorrer após o anterior se ter verificado. Trata-se de uma análise onde se vai interrogando em cada estágio: "- O que é que acontece se...? ".
Método FMEA	Análise de modos de falhas e seus efeitos é uma técnica utilizada na identificação dos modos de um sistema, produto ou processo para fornecer orientações para eliminação ou redução do risco relativo a essas falhas.	A metodologia realiza-se de acordo com os seguintes passos: 1. Para cada entrada do processo, determinar de que modo o processo pode falhar, ou seja, identificar os modos de falha; 2. Determinar o efeito de cada modo de falha identificado; 3. Identificar as causas potenciais de cada modo de falha; 4. Listar os controlos atuais para cada causa identificada; 5. Atribuir os graus de severidade (S), ocorrência (O) e deteção (D); 6. Calcular o número de prioridade de risco (<i>NPR - number of priority risk</i>) através da equação $NPR = S \times O \times D$; 7. Determinar as ações recomendadas para reduzir os <i>NPR</i> mais elevados; 8. Implantar as ações apropriadas e documentar os resultados; 9. Recalcular o <i>NPR</i> e iniciar as intervenções pelos valores mais elevados.
Método FMECA	Extensão do estudo FMEA com grande aplicação ao nível da melhoria da fiabilidade e manutibilidade de equipamentos e sistemas. Inclui a análise de criticidade, que é usada para avaliar a probabilidade dos modos de falha em relação à severidade das suas consequências.	Metodologia similar ao FMEA, diferenciando-se na análise dos dados. A análise de criticidade (CA) pode ser quantitativa ou qualitativa, dependendo da disponibilidade de dados de suporte das falhas. A análise qualitativa é equivalente à realizada pelo FMEA culminando com a apresentação do <i>NPR</i> e atuando em função do seu valor. A análise quantitativa requer o cálculo da criticidade (<i>Cr</i>) de cada potencial modo de falha: $Cr = F(t) \times MF(t) \times Pp(t)$ <i>F(t)</i> - probabilidade de falha de cada item; <i>MF(t)</i> - Taxa do modo de falhas; <i>Pp(t)</i> - Probabilidade de perda.
Método M-VSM	É uma adaptação do método VSM. Tem por finalidade visualizar o percurso de um produto ou serviço ao longo de toda cadeia de valor que ajuda a gestão, engenharia e as operações a reconhecer o desperdício e a identificar as suas causas.	Mapeamento da cadeia de valor. Inclui o mapeamento físico do estado atual enquanto se foca no estado pretendido ou estado futuro.
Método OPL	<i>One Point Lesson</i> - OPL, representam iniciativas específicas de curta duração realizadas no processo e são um veículo para transmitir procedimentos standards de trabalho ou SOP (<i>Standard Operating Procedures</i>).	Uma OPL pode ser do tipo: 1. <u>Folha de problema/desafio</u> : ensina como prevenir a recorrência de um dado problema no equipamento; 2. <u>Folha de informação</u> : contém conhecimento prático e básico orientando atividades de manutenção, pequenas intervenções na máquina antes de iniciar a atividade ou turno, ativar funções da máquina ao longo do processo, ações de limpeza e verificação e, por fim, lubrificação; 3. <u>Folha de melhoria contínua</u> : descreve a abordagem e as medidas-chave num programa de melhoria bem-sucedido.

(adaptado de Pinto, 2013; Almeida, 2011; Assis, 2010; Morais, 2005; Sales, 2008).

Tabela 62 (continuação) - Soluções LCM.

Soluções LCM		
Soluções	Objetivo	Aplicação
Método QFD	Técnica que tem por finalidade captar o que o cliente necessita e espera de um produto ou serviço, procurando traduzir as necessidades e expectativas do cliente em requisitos de conceção, fabrico e entrega de produtos e serviços, de modo a que estes vão ao encontro do que é esperado pelo cliente.	O QFD começa com o design do produto ou serviço e do respetivo processo e conclui com um relatório completo de planos e instruções que garantem a entrega do produto ou serviço da forma como o cliente desejou. Pontos-chave no QFD: 1. Perceber as necessidades e expectativas do cliente; 2. Desenvolvimento da qualidade; 3. A qualidade como fator criador de valor; 4. Sistema de qualidade orientado ao cliente; 5. Estratégia para manter a empresa na liderança do mercado.
Método RAMS	RAMS - <i>Reliability, Availability, Maintainability and Safety</i> , leva em consideração uma abordagem integrada das características de fiabilidade, manutibilidade, disponibilidade e segurança de um equipamento. O RAMS pode ser caracterizado como um indicador qualitativo e quantitativo do grau de fiabilidade em que a unidade de produção e os seus equipamentos e componentes possam funcionar como requerido, estando ao mesmo tempo disponíveis e seguros.	O RAMS é composto por uma série de etapas. Primeiramente define-se a unidade industrial a analisar e faz-se uma descrição funcional. Posteriormente procede-se à decomposição dessa unidade industrial em equipamentos e componentes e realiza-se o respetivo diagrama funcional. Identificam-se, de seguida, as avarias, realiza-se uma análise HAZOP e selecionam-se os equipamentos e componentes para aplicação de um estudo FMECA. Definem-se os critérios de severidade, ocorrência e detetabilidade. Realiza-se uma análise FMECA e uma matriz de criticidade, define-se uma árvore de falhas e uma árvore de eventos (se necessário). É comum aplicar-se a análise de Pareto, da metodologia RCM e planeamento da manutenção.
Método RCM	É um processo de melhoria do desempenho dos equipamentos e instalações baseado na análise das funções dos mesmos. Sua aplicação bem-sucedida levará a uma redução efetiva de custos, aumento da disponibilidade de equipamentos e sistemas e uma melhor compreensão dos riscos.	É um processo de engenharia que permite definir para cada item o regime de manutenção mais adequado, tendo como referência o contexto operacional do item e os objetivos da organização e baseia-se nas seguintes questões: 1. O que é suposto cada item fazer e qual o desempenho padrão associado? 2. De que modos este item pode falhar? 3. Quais os eventos que causam cada falha? 4. O que acontece quando cada falha ocorre? 5. Qual o impacto de cada falha? 6. Que atividades podem ser sistematicamente realizadas para prevenir ou diminuir as consequências das falhas? 7. O que pode ser feito se não for possível implementar uma adequada ação preventiva?
Método SMED	Consiste em ações de melhoria que visam a sistemática redução dos tempos e atividades de mudança e/ou ajuste, com o propósito de maximizar a utilização dos meios e o aumento da flexibilidade dos processos.	As principais fases do método são as seguintes: 1. Separar as atividades de setup internas e externas desenvolvida no processo de mudança de ferramentas; 2. Onde possível, converter as atividades de setup internas em externas de modo a minimizar o tempo de paragem do equipamento ou processo; 3. Eliminar a necessidade de ajustes; 4. Uniformizar e melhorar as operações manuais; 5. Melhorar o equipamento através de alterações estruturais ou de modo de operação; 6. Criar um registo de melhorias e definir os objetivos a atingir.

(adaptado de Pinto, 2013; Almeida, 2011; Assis, 2010; Morais, 2005; Sales, 2008).

Tabela 62 (continuação) - Soluções LCM.

Soluções LCM		
Soluções	Objetivo	Aplicação
Metodologia TOPS/8D	Oito disciplinas, também conhecido como <i>team oriented problem solving</i> - TOPS/8D, visa eliminar a prática de "apagar incêndio" que frequentemente acontece à medida que o ciclo de vida do produto ou serviço vai se desenvolvendo. Consiste numa sequência de fases que deverão ser seguidas a partir do momento em que o problema se torne evidente.	As fases do método são as seguintes: Passo 1: Criar uma equipa e trabalhar com ela; Passo 2: Descrever o problema; Passo 3: Implementar e verificar as ações intermediárias de contenção; Passo 4: Definir e verificar a(s) causa(s) raiz; Passo 5: Escolher e verificar as ações corretivas permanentes; Passo 6: Implementar as ações corretivas permanentes; Passo 7: Prevenir a ocorrência; Passo 8: Felicitar a equipa.
Métodos Error-proofing	Também conhecidos como <i>mistake-proofing, fool-proofing, idiot-proofing ou fail-safing</i> . Referem-se a atividades de identificação e prevenção de causas prováveis de erros ou defeitos nos processos. Podem ser aplicados na melhoria de produtos, serviços e processos em todos os tipos de organizações.	Implementação de dispositivos poka-yoke, que significa "sistema à prova de erro" ou "algo que evita erro".
Registo AAR	<i>After Action Report</i> - AAR, é uma ferramenta onde devem ser registradas as lições aprendidas resultantes de cada projeto e ser o ponto de partida para as próximas ações ou projetos de melhoria. Deve, ainda, auxiliar as equipas a evitar repetir erros e a receber conhecimentos e experiências únicas de anteriores projetos.	Registo das lições aprendidas. Os seguintes questionamentos devem ser realizados: - O que foi planejado? - O que realmente ocorreu? (fatos não julgamentos) - O que correu bem e por quê? - O que pode ser melhorado e como? A ferramenta consiste na Análise de Resultados, Análise de Tarefas Críticas, Sumário e Recomendações.
Sete Ferramentas da Qualidade	Grupo de ferramentas que possibilita a identificação e busca da causa de uma falha e são assim classificados: Diagrama de causa e efeito (Diagrama de Ishikawa), Fluxograma, Histograma, Folhas de Verificação, Análise ABC, Gráfico de Tendência e Gráfico de Dispersão.	<u>Diagrama de Ishikawa:</u> trata-se de uma ferramenta de análise normalmente usada em processos de brainstorming para a resolução de problemas; <u>Fluxograma:</u> forma gráfica de apresentar o fluxo de um processo; <u>Histograma:</u> gráfico para representar a distribuição de frequências de variáveis discretas e contínuas, podendo ser absolutas ou relativas; <u>Folha de Verificação:</u> são registos que permitem avaliar analisar a ocorrência de eventos; <u>Análise ABC:</u> regra 20/80 ou Princípio de Pareto, e diz-nos que, para muitos fenómenos, 80% das consequências advêm de 20% das causas; <u>Gráfico de Tendência ou run chart:</u> permite visualizar os resultados de um processo e ajuda a identificar possíveis alterações ao longo do tempo; <u>Gráfico de Dispersão ou scatter diagram:</u> é utilizado para estudar a relação, cuja medida é dada pelo coeficiente de correlação, existente entre duas ou mais variáveis de um processo.
Sistema Pull	Cada sequência de trabalho só é desencadeada quando a que está imediatamente a seguir o permitir. O sistema pull só desencadeia os processos na presença de um pedido, isto é, as operações são realizadas just in time.	Pode ser aplicado na manutenção para gerir o fluxo de trabalho, os estoques de materiais e peças de reserva.
Técnica FTA	Técnica analítica e dedutiva onde um nível não desejado (TLE - <i>top level event</i>) é especificado e analisado considerando todos os eventos da cadeia relacionados com falhas do sistema.	A avaliação quantitativa fornece a probabilidade de ocorrência do evento topo da árvore, possibilitando também a identificação precisa das causas básicas que mais contribuem para a falha do sistema. 1. Definição do sistema; 2. Construção da árvore; 3. Determinação dos cortes mínimos; 4. Avaliação quantitativa; 5. Identificação dos modos de falha mais importantes; 6. Conclusões e recomendações.

(adaptado de Pinto, 2013; Almeida, 2011; Assis, 2010; Morais, 2005; Sales, 2008).

ANEXO IV

Tabela 63 - Sumário de ferramentas aplicáveis à RCA.

RCA Tools			
Entendimento do Problema (<i>Problem understanding</i>)			
Estágio/Ferramenta	Proposta	Pontos Fortes/Vantagens	Pontos Fracos/Dificuldades
Flowchart (Fluxograma)	Entender o fluxo de atividades no processo	Fácil de usar; usa gráficos	Difícil de decidir no nível de detalhe
Critical Incident (Incidente crítico)	Entender quais são os sintomas mais preocupantes	Permite que qualquer pessoa participe; gera muitas ideias	Requer confiança e abertura
Spider chart (gráfico aranha)	Comparar o desempenho com referências externas	Apresentação gráfica facilmente comprehensível	Dificuldade em obter os dados necessários
Performance matrix (Matriz de desempenho)	Priorizar problemas ou sintomas para atacar	Conduz a uma análise estruturada; abordagem gráfica	Requer avaliações subjetivas
Ideias para a causa do problema (<i>Problem cause brainstorming</i>)			
Estágio/Ferramenta	Proposta	Pontos Fortes/Vantagens	Pontos Fracos/Dificuldades
Brainstorming (Tempestade de ideias)	Gerar tantas ideias quanto possível	Fácil de usar; envolve muitas pessoas	Uma ou poucas pessoas pode dominar; não é permitido anonimato
Brainwriting (Ideias escritas)	Gerar tantas ideias quanto possível	Envolve muitas pessoas; permite anonimato	Pode ser menos espontâneo que o Brainstorming
Is-Is not matrix (Matriz é-não é)	Gerar ideias sobre o problema, concentrando-se especialmente sobre o que faz e não em caracterizá-lo.	Separação clara entre efeitos que ocorrem e não ocorrem; permite visão mais clara de contratos e questões ímpares	Pode ser difícil chegar aos elementos "is not"
Nominal group technique (Técnica nominal de grupo)	Priorizar ideias	Fácil de usar; permite a qualquer pessoa votar igualmente	Pode ser difícil escolher entre várias alternativas
Paired comparisons (Comparações pareadas)	Priorizar ideias	Requer comparação apenas entre duas em duas alternativas ao invés de muitas ao mesmo tempo	Com muitas alternativas, o exercício torna-se inviável devido a um número demasiado elevado de pares
Coleta de dados para a causa do problema (<i>Problem cause data collection</i>)			
Estágio/Ferramenta	Proposta	Pontos Fortes/Vantagens	Pontos Fracos/Dificuldades
Sampling (Amostragem)	Obter uma amostra representativa de uma grande população	Minimiza o esforço de recolha de dados	Difícil decidir sobre o tipo de amostragem e tamanho da amostra; A amostra pode não ser representativa
Surveys (Pesquisas)	Coletar dados dos participantes	Permite a recolha de grandes quantidades de dados	Boas pesquisas são difíceis de projetar; muitas vezes com baixa taxa de resposta
Check sheet (Folha de verificação)	Registrar dados em uma forma sistemática	Fácil de usar; assegura que todos os dados são capturados	Categorias de dados não especificados podem ser negligenciadas

(Fonte: Andersen e Fagerhaug, 2006).

Tabela 63 (continuação) - Sumário de ferramentas aplicáveis à RCA.

RCA Tools			
Análise de dados para a causa do problema (<i>Problem cause data analysis</i>)			
Estágio/Ferramenta	Proposta	Pontos Fortes/Vantagens	Pontos Fracos/Dificuldades
Histogram (Histograma)	Retratar dados graficamente	Fácil ver padrões; usa gráficos	Difícil identificar classes
Pareto chart (Gráfico de Pareto)	Encontrar os poucos elementos que causam a maioria dos efeitos.	Gráficos impressionantes	Vários eixos no mesmo gráfico.
Scatter chart (Gráfico de dispersão)	Encontrar as relações entre duas variáveis	Fácil de compreender gráficos	Difícil selecionar a variável independente e dependente
Problem concentration diagram (diagrama de concentração de problemas)	Descobrir padrões de ocorrências de problemas físicos	Mostra graficamente onde ocorrem problemas, pode ser usado para analisar os dados já coletados, usando folhas de verificação, por exemplo	Desenhar um mapa que representa o sistema real muito bem pode ser difícil
Relations diagram (Diagrama de Relações)	Encontrar a relação entre os vários elementos	Fornece uma abordagem estruturada; dá uma imagem gráfica clara	Depende de avaliações subjetivas; o diagrama pode se tornar bastante complexo
Affinity diagram (Diagrama de afinidades)	Encontrar relacionamento que de outra forma não é facilmente visto	Pode revelar relacionamentos difíceis de se reconhecer	Requer criatividade, paciência e experiência anterior; menos estruturado.
Identificação da causa raiz (<i>Root cause identification</i>)			
Estágio/Ferramenta	Proposta	Pontos Fortes/Vantagens	Pontos Fracos/Dificuldades
Cause and effect chart (Diagrama de causa e efeito)	Gerar e agrupar as causas do problema	Fácil de usar; promove a estrutura e criatividade	Uma ou algumas pessoas podem dominar o exercício
Matrix diagram (Diagrama de matriz)	Analizar as relações causais	Fornece uma estrutura para a análise; mostra impacto combinado de fatores	Depende de avaliações subjetivas; alguns tipos de diagramas podem ser complexos de usar
Five whys (Cinco porquês)	Identificar cadeias de causa e efeito	Fácil de usar; descobre a causa raiz	Requer um pouco de criatividade e conhecimento profundo do problema
Fault tree analysis (Análise por árvore de falhas)	Graficamente mostra ramos de relações de causa e efeito	Cria uma visão sobre como causas interagem; pode usar os resultados já produzidos usando cinco porquês	No caso de muitas causas em diversos níveis, o diagrama pode ser difícil de construir e ler

(Fonte: Andersen e Fagerhaug, 2006).

Tabela 63 (continuação) - Sumário de ferramentas aplicáveis à RCA.

RCA Tools			
Eliminação da causa raiz (<i>Root cause elimination</i>)			
Estágio/Ferramenta	Proposta	Pontos Fortes/Vantagens	Pontos Fracos/Dificuldades
The six thinking hats (Os seis chapéus pensantes)	Gera várias ideias para solução	Obriga as pessoas a assumir diferentes mentalidades; fácil de usar	Requer um pouco de prática para se tornar eficaz; raramente chega a conclusões bem claras
TRIZ (Teoria Rechénia Izobretátskikh Zadátcchi - Teoria da Resolução de Problemas Inventivos)	Encontrar soluções viáveis, especialmente para problemas de engenharia	Baseia-se em princípios de solução gerais tabulados; é conhecido por criar soluções boas e criativas	Pode ser difícil de ser bem aplicado; menos adequado para os problemas mais suaves
SIT (Systematic inventive thinking - Pensamento inventivo sistemático)	Encontrar soluções criativas e viáveis	Baseia-se em modelos que ajudam a análise; é conhecido por criar soluções boas e criativas	Pode ser difícil de ser bem aplicado
Solution implementation (<i>Implementação da solução</i>)			
Estágio/Ferramenta	Proposta	Pontos Fortes/Vantagens	Pontos Fracos/Dificuldades
Tree diagram (Diagrama de Árvore)	Criar um plano de projeto para a implementação da solução	Estrutura as atividades de implementação; permite sequenciar atividades corretamente	Torna-se complexa com muitas atividades; menos adequado para o planeamento do projeto puro do que ferramentas mais avançadas.
Force-field-analysis (Análise das forças externas)	Compreender as forças de trabalho a favor e contra a mudança	Ilustra toda a mudança de clima num diagrama; fácil de usar	Pode ser difícil avaliar o poder das forças

(Fonte: Andersen e Fagerhaug, 2006).

ANEXO V

Tabela 64 - Elementos-chave de autoavaliação entre elementos-chave e níveis de maturidade.

Elementos-chave	Nível de Maturidade				
	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5
Qual é o foco da gestão? (Gestão)	O foco está nos produtos, acionistas e alguns clientes, <i>com reações ad hoc</i> a mudanças, problemas e oportunidades.	O foco está nos clientes e requisitos estatutários e regulamentares, com algumas reações estruturadas a problemas e oportunidades.	O foco está nas pessoas e em outras partes interessadas. Processos são definidos e implementados em relação a problemas e oportunidades.	O foco está em balancear as necessidades das partes interessadas identificadas. Melhoria contínua é enfatizada como uma parte do foco da organização.	O foco está em balancear as necessidades das partes interessadas emergentes. Desempenho como melhor da classe é definido como um objetivo primário.
Qual é a abordagem de liderança? (Gestão)	A abordagem é reativa e baseada em instruções de cima para baixo.	A abordagem é reativa e baseada em decisões tomadas pelos gerentes em diferentes níveis.	A abordagem é pró-ativa e a autoridade para tomar decisões é delegada.	A abordagem é pró-ativa, com alto envolvimento dos membros da organização na sua tomada de decisão.	A abordagem é pró-ativa e orientada à aprendizagem, com autonomia das pessoas em todos os níveis.
Como é decidido o que é importante? (Estratégia e Política)	As decisões são baseadas em entradas informais do mercado e outras fontes.	As decisões são baseadas em necessidades e expectativas dos clientes.	As decisões são baseadas na estratégia e estão ligadas às necessidades e expectativas das partes interessadas.	As decisões são baseadas no desdobramento da estratégia em necessidades operacionais e processos.	As decisões são baseadas na necessidade de flexibilidade, agilidade e desempenho sustentado.
O que é necessário para obter resultados? (Recursos)	Os recursos são geridos de modo <i>ad hoc</i> .	Os recursos são geridos eficazmente.	Os recursos são geridos eficientemente.	Os recursos são geridos eficientemente e de forma que sejam levadas em conta a sua escassez caso a caso.	A gestão e utilização dos recursos são planeadas, eficientemente desdobradas e satisfazem as partes interessadas.
Como as atividades são organizadas? (Processos)	Há uma abordagem não sistemática para a organização de atividades, com apenas alguns procedimentos ou instruções de trabalhos básicos em uso.	As atividades são organizadas por função, com um sistema da qualidade básico em uso.	As atividades são organizadas em um sistema de gestão da qualidade baseado em processos que são eficazes e eficientes e que permite flexibilidade.	Existe um sistema de gestão da qualidade que é eficaz e eficiente, com boa interação entre seus processos e que apoia a agilidade e melhoria. Os processos consideram as necessidades das partes interessadas identificadas.	Existe um sistema de gestão da qualidade que apoia a inovação e <i>benchmarking</i> e que considera as necessidades e expectativas das partes interessadas emergentes, bem como das identificadas.

(Fonte: ISO 9004:2010).

Tabela 64 (continuação) - Elementos-chave de autoavaliação entre elementos-chave e níveis de maturidade.

Elementos-chave	Nível de Maturidade				
	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5
Como os resultados são alcançados? (Monitoramento e Medição)	Os resultados são alcançados de forma aleatória. Ações corretivas são <i>ad hoc</i> .	Alguns resultados previstos são alcançados. Ações corretivas e preventivas são realizadas de forma sistemática.	Resultados previstos são alcançados, especialmente para as partes interessadas identificadas. Existe uso consistente de monitoramento, medição e melhoria.	Existem resultados previstos consistentes e positivos, com tendências sustentáveis. Melhorias e inovações são realizadas de forma sistemática.	Os resultados obtidos estão acima da média do setor para a organização e são mantidos a longo prazo. Há implementação de melhoria e inovação em toda a organização.
Como os resultados são monitorados? (Monitoramento e Medição)	Indicadores financeiros, comerciais e de produtividade estão em uso.	A satisfação dos clientes, principais processos de realização e desempenho de fornecedores são monitorizados.	A satisfação das pessoas e das partes interessadas da organização são monitorizadas.	Principais indicadores de desempenho estão alinhados com a estratégia da organização e são utilizados para a monitorização.	Principais indicadores de desempenho estão integrados na monitorização em tempo real de todos os processos e o desempenho é eficientemente comunicado às partes interessadas pertinentes.
Como são decididas as prioridades de melhoria? (Melhoria, Inovação e Aprendizagem)	Prioridades de melhoria são baseadas em erros, queixas ou critérios financeiros.	Prioridades de melhoria são baseadas em dados de satisfação do cliente, ou ações corretivas e preventivas.	Prioridades de melhoria são baseadas nas necessidades e expectativas das partes interessadas, bem como dos fornecedores e das pessoas da organização.	Prioridades de melhoria são baseadas em tendências e informações de outras partes interessadas, bem como na análise de mudanças sociais, ambientais e econômicas.	Prioridades de melhoria são baseadas em informações de partes interessadas emergentes.
Como o aprendizado ocorre? (Melhoria, Inovação e Aprendizagem)	Aprendizagem ocorre aleatoriamente a um nível individual.	Existe aprendizagem sistemática a partir dos sucessos e fracassos da organização.	Um processo de aprendizagem sistemático e compartilhado é implementado na organização.	Existe uma cultura de aprendizagem e parceria na organização que está atrelada à melhoria contínua.	Os processos para aprendizagem da organização são compartilhados com as partes interessadas relevantes e apoiam a criatividade e a inovação.

(Fonte: ISO 9004:2010).

Tabela 65 - Autoavaliação dos elementos detalhados da seção 4: Gestão para o sucesso sustentado de uma organização.

Elementos-chave	Nível de Maturidade				
	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5
4.1 (Gestão do sucesso sustentado de uma organização) Generalidades	O sistema de gestão da qualidade é funcionalmente orientado baseado em procedimentos.	Há um sistema de gestão da qualidade baseado em processos.	Há um sistema de gestão da qualidade abrangendo toda a organização com base nos oito princípios de gestão da qualidade.	O sistema de gestão da organização foi estendido para integrar outras disciplinas, como por exemplo, gestão ambiental, gestão de saúde e segurança, etc.	O sistema de gestão alcança o pleno desdobramento da política da organização.
4.2 Sucesso sustentado	O desempenho atual da organização é comparado com o orçamento de forma regular em uma análise crítica anual.	Existem análises críticas periódicas de desempenho em relação ao plano de negócio.	Os resultados mostram melhoria consistente do desempenho durante os últimos anos.	Houve melhora sustentada no desempenho no passado, com evidência de planeamento para o futuro a curto prazo (por exemplo, para os próximos dois anos).	Houve melhora sustentada no desempenho no passado, com evidência de planeamento para o futuro a longo prazo (por exemplo, para os próximos cinco anos).
4.3 O ambiente da organização	A organização reage às mudanças que tenham impacto sobre ela.	Existem planos para mitigar qualquer recorrência de problemas passados.	Avaliações de risco são feitas periodicamente, de forma a considerar os impactos potenciais sobre a organização.	Existem planos de contingência para mitigar todos os riscos identificados para a organização.	A avaliação de risco e o planeamento são processos contínuos dentro da organização, a fim de mitigar todos os riscos.
4.4 Necessidades e expectativas das partes interessadas	O objetivo primordial da organização é obter um lucro anual.	A organização é impulsionada pelas necessidades e expectativas dos clientes.	As necessidades e expectativas das partes interessadas são satisfeitas onde viável.	As necessidades e expectativas das partes interessadas são as principais entradas para as decisões da alta direção.	As necessidades e expectativas de todas as partes interessadas pertinentes têm sido satisfeitas ao longo dos últimos anos (por exemplo, três anos).

(Fonte: ISO 9004:2010).

Tabela 66 - Autoavaliação dos elementos detalhados da seção 5: Estratégia e política.

Elementos-chave	Nível de Maturidade				
	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5
5.1 (Estratégia e Política) Generalidades 5.2 Estratégia e formulação de políticas	<p>O processo de planeamento é organizado de uma forma <i>ad hoc</i>.</p> <p>Estratégia, políticas e objetivos são apenas parcialmente definidos.</p> <p>Entradas para a formulação da política e estratégia são <i>ad hoc</i>, e apenas aspectos relacionados com o produto e financeiros são formulados.</p>	<p>Um processo estruturado para a formulação da estratégia e das políticas está em uso.</p> <p>O processo de formulação de estratégia e políticas inclui uma análise das necessidades e expectativas dos clientes, juntamente com uma análise de requisitos estatutários e regulamentares.</p>	<p>O processo de formulação de estratégia e política evoluiu para incluir uma análise das expectativas de uma gama mais ampla de partes interessadas.</p> <p>Os planos são desenvolvidos após avaliação das necessidades e expectativas das partes interessadas pertinentes.</p> <p>O processo de planeamento inclui a consideração da evolução das tendências externas e das necessidades das partes interessadas, se necessário, são realizados realinhamentos.</p> <p>É possível ligar resultados benéficos às abordagens estratégicas passadas.</p>	<p>Estratégia, política e objetivos são formuladas de uma forma estruturada.</p> <p>Estratégia e políticas abrangem aspectos relativos às partes interessadas pertinentes.</p> <p>Os resultados dos processos de formulação de estratégia e política da organização são consistentes com as necessidades das suas partes interessadas.</p> <p>Ameaças, oportunidades e disponibilidade de recursos são avaliados e considerados antes de os planos serem confirmados.</p> <p>Análise crítica estruturada e periódica dos processos de planeamento está em uso.</p>	<p>É possível demonstrar que estratégias resultaram na realização dos objetivos da organização e otimização no atendimento das necessidades das partes interessadas.</p> <p>As partes interessadas são engajadas e estão contribuindo para o sucesso da organização, há confiança de que o nível das suas contribuições será mantido.</p> <p>Há confiança de que sucessos serão sustentados. Mecanismos eficazes de controle e de comunicação, incluindo realimentação das partes interessadas para o processo de planeamento, estão em uso.</p>

(Fonte: ISO 9004:2010).

Tabela 66 (continuação) - Autoavaliação dos elementos detalhados da seção 5: Estratégia e política.

Elementos-chave	Nível de Maturidade				
	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5
5.3 (Estratégia e política de desdobramento)	Objetivos a curto prazo são utilizados e desdobrados nas operações do dia-a-dia. Planos estratégicos são definidos para a realização do produto.	Estratégia e políticas são traduzidas em objetivos para os diferentes níveis da organização. Planos são desenvolvidos em sintonia com as necessidades e expectativas dos clientes. Estratégia e políticas estão evoluindo, necessidades do cliente são desdobradas em processos e objetivos claramente definidos. Estes são a base para as análises críticas e auditorias do desempenho.	Medição do progresso para realização dos objetivos estratégicos da organização é realizada. Desvios positivos e negativos em relação aos planos são analisados e as lições pertinentes adotadas.	Objetivos mensuráveis são definidos para cada processo e nível da organização e são coerentes com a estratégia. O sistema de gestão é analisado criticamente e atualizado, acompanhando as mudanças na estratégia. Medição do progresso para realização de objetivos demonstra que existem muitas tendências positivas.	Estratégia, planeamento e desdobramento de política são analisados crítica e regularmente é atualizado, usando dados do monitorização e da análise do ambiente da organização. Análise do desempenho passado permite demonstrar que a organização conseguiu superar desafios emergentes ou imprevistos.
5.4 Comunicação da estratégia e política	A comunicação ocorre de uma forma reativa.	Um processo para a comunicação externa e interna é definido e implementado.	Sistema eficazes para se comunicar mudanças em estratégia e planos às pessoas relevantes dentro da organização estão em uso.	Mudanças na política são comunicadas às partes interessadas pertinentes, e para todos os níveis da organização.	A eficácia dos processos de comunicação é analisada crítica e regularmente. Há evidências de que processos de comunicação atendem às necessidades das partes interessadas.

NOTA: O nível atual de maturidade dos elementos individuais da organização é o mais alto alcançado até aquele nível sem lacunas precedentes nos critérios.

(Fonte: ISO 9004:2010).

Tabela 67 - Autoavaliação dos elementos detalhados da seção 6: Gestão de recursos.

Elementos-chave	Nível de Maturidade				
	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5
6.1 (Gestão de Recursos) Generalidades	Os recursos são definidos e atribuídos de forma <i>ad hoc</i> .	Um processo para o planeamento de recursos, incluindo a sua identificação, disposição e acompanhamento, é implementado.	A análise crítica periódica da disponibilidade e da adequabilidade dos recursos é realizada. O planeamento de recursos inclui objetivos de curto e longo prazos.	Os riscos de potencial escassez de recursos são avaliados. A abordagem da organização à gestão de recursos é comprovadamente eficaz e eficiente.	Oportunidades para melhorar o planeamento de recursos são procuradas através de <i>benchmarking</i> .
6.2 Recursos financeiros	Os recursos financeiros são definidos e atribuídos de forma <i>ad hoc</i> . Planeamento financeiro de curto prazo é utilizado.	Um processo de previsão, monitorização e controle de recursos financeiros é implementado. Gestão financeira é estruturada sistematicamente.	Existem análises críticas periódicas da eficácia da utilização dos recursos financeiros. Riscos financeiros são identificados.	Riscos financeiros são mitigados. Futuras necessidades financeiras são previstas e planeadas.	Alocação de recursos financeiros contribui para a realização dos objetivos da organização. Existe um processo permanente para reavaliar continuamente a alocação.
6.3 Pessoas da organização	As pessoas são consideradas um recurso, mas apenas poucos objetivos são relacionados com a estratégia da organização. A formação é oferecida numa base <i>ad hoc</i> , e na maioria das vezes para atender a um pedido individual. Análises críticas de competência são executadas em poucos casos.	As pessoas são reconhecidas como um recurso com objetivos determinados, os quais são relacionados com a estratégia da organização. Existe um programa para análise crítica da competência. Competências são desenvolvidas como parte de um plano geral, o qual está ligado à estratégia da organização. Ideias para melhoria são coletadas.	As pessoas têm responsabilidades claras nos processos e metas, bem como conhecimento de como estes se vinculam dentro da organização. Um sistema de qualificação de competências é estabelecido com mentoria e orientação.	Trabalho interno em rede e generalizado e fornece conhecimento coletivo para a organização. Aformação é oferecida para desenvolver capacidade em criatividade e melhoria. As pessoas conhecem suas competências e onde estas podem contribuir da melhor maneira para a melhoria organizacional. Planeamento de carreira é bem desenvolvido.	Trabalho externo em rede envolve pessoas em toda a organização. Pessoas em toda a organização participam no desenvolvimento de novos processos. Melhores práticas são reconhecidas.

(Fonte: ISO 9004:2010).

Tabela 67 (continuação) - Autoavaliação dos elementos detalhados da seção 6: Gestão de recursos.

Elementos-chave	Nível de Maturidade				
	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5
6.4 Fornecedores e Parceiros	Comunicações com fornecedores limitam-se a tomada de preços, colocação de pedidos ou resolução de problemas.	Processos estão em uso para comunicar-se com, selecionar, avaliar, reavaliar e classificar fornecedores.	Fornecedores e parceiros são identificados de acordo com as necessidades estratégicas ou riscos. Processos de desenvolvimento e gestão de relacionamentos existem para desenvolver fornecedores e parceiros.	Comunicação aberta com os parceiros sobre as necessidades e estratégias.	Os dados demonstram que parceiros estão engajados e contribuindo para o sucesso da organização.
6.5 Infraestrutura	Infraestruturas básicas estão em uso.	A infraestrutura da organização é planeada e gerida. Requisitos estatutários e regulamentadores são considerados.	A infraestrutura e processos relacionados são analisados crítica e regularmente com visão do futuro.	Riscos para a infraestrutura são identificados e ações preventivas são implementadas.	O desempenho e a base do custo da infraestrutura da organização se compararam favoravelmente com organizações similares. Planeamento de contingência é utilizado para reduzir ameaças potenciais, bem como para explorar oportunidades.
6.6 Ambiente de trabalho	Existem condições básicas para o ambiente de trabalho.	Um processo está implementado para garantir que o ambiente de trabalho esteja em conformidade com todos os requisitos estatutários e regulamentares aplicáveis.	Uma análise crítica e regular da eficiência e eficácia do ambiente de trabalho é realizada.	Dados mostram que o ambiente de trabalho incentiva produtividade, criatividade e bem-estar das pessoas.	Os processos implementados para o desenvolvimento do ambiente de trabalho suportam a competitividade e se compararam favoravelmente com organizações similares.

(Fonte: ISO 9004:2010).

Tabela 67 (continuação) - Autoavaliação dos elementos detalhados da seção 6: Gestão de recursos.

Elementos-chave	Nível de Maturidade				
	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5
6.7 Conhecimento, Informação e Tecnologia	Abordagem e sistemas básicos para o conhecimento, informação e tecnologia estão em uso.	Um processo para identificar, obter, proteger, usar e avaliar informação, conhecimento e tecnologia é implementado. Um sistema básico para partilha de informação está implementado.	Informação, conhecimento e tecnologia são partilhados dentro da organização, e análises críticas regulares são realizadas. Tecnologias críticas são controladas através de patentes e fontes secundárias quando necessário.	Informação, conhecimento e tecnologias são partilhados com parceiros e outras partes interessadas.	Os resultados obtidos com a gestão da informação, tecnologia e conhecimento se comparam favoravelmente com outras organizações.
6.8 Recursos Naturais	A utilização dos recursos naturais é gerida de forma muito limitada.	Existe um processo para definir e controlar a utilização dos recursos naturais necessários para a organização.	Processos são desdobrados para medir a eficiência do uso dos recursos naturais. Os riscos da escassez de recursos naturais são avaliados e ações são tomadas para proteger a continuidade futura do fornecimento.	Existem processos para otimizar o uso dos recursos naturais e de considerar o uso de recursos alternativos. A organização tem processos para considerar a necessidade de proteção ambiental em todo o ciclo de vida dos seus produtos.	A organização pode demonstrar que a sua abordagem para o uso de recursos naturais satisfaz as necessidades do presente, sem comprometer as necessidades das gerações futuras da sociedade. Há interação e <i>benchmarking</i> com organizações externas e outras partes interessadas sobre o uso dos recursos naturais.

NOTA: O nível atual de maturidade dos elementos individuais da organização é o mais alto alcançado até aquele nível sem lacunas precedentes nos critérios.

(Fonte: ISO 9004:2010).

Tabela 68 - Autoavaliação dos elementos detalhados da seção 7: Gestão de processos.

Elementos-chave	Nível de Maturidade				
	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5
7.1 (Gestão de Processos) Generalidades 7.2 Planeamento e Controlo de Processos	Processos são planeados e geridos de maneira informal de modo <i>ad hoc</i> .	Processos principais, tais como os relativos a satisfação dos clientes e realização do produto, são definidos e geridos. Interações entre processos são definidas e geridas. A eficácia dos processos é medida sistematicamente e as ações adotadas.	O planeamento de processos está integrado com o desdobramento da estratégia. As necessidades e expectativas das partes interessadas identificadas são utilizadas como entradas no planeamento do processo.	Melhorias na agilidade, flexibilidade e inovação do processo podem ser demonstrados. Todas as partes interessadas pertinentes são consideradas no planeamento do processo. Conflitos de interação entre os processos são identificados e resolvidos de forma eficaz.	O desempenho do processo é comparado ao de organizações líderes, e os resultados são utilizados no planeamento de processo. Os resultados de processos principais estão acima da média das organizações do setor.
7.3 Responsabilidade e Autoridade pelos Processos	Responsabilidades pelos processos são definidas de modo <i>ad hoc</i> .	Responsabilidade e autoridade claras para a gestão de processos são atribuídas (por exemplo, a "donos de processos").	Há uma política para evitar e resolver possíveis disputas na gestão de processos.	As competências dos donos de processos são melhoradas continuamente.	A aprendizagem é compartilhada entre os donos de processos e as partes interessadas.
NOTA: O nível atual de maturidade dos elementos individuais da organização é o mais alto alcançado até aquele nível sem lacunas precedentes nos critérios.					

(Fonte: ISO 9004:2010).

Tabela 69 - Autoavaliação dos elementos detalhados da seção 8: Monitoramento, medição, análise e revisão.

Elementos-chave	Nível de Maturidade				
	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5
8.1 (Monitoramento, Medição, Análise e Revisão) Generalidades	A monitorização é realizada esporadicamente, sem processo estabelecido. O foco da monitorização é nos produtos. Ação é desencadeada por problemas no produto ou de gestão (por exemplo, situações de crise). Embora a informação sobre requisitos estatutários e regulamentares aplicáveis seja coletada, as mudanças nos requisitos são somente determinadas de modo <i>ad hoc</i> .	Um processo de monitorização é realizado periodicamente. O foco da monitorização é nos clientes. Necessidades do cliente e suas expectativas são monitorizadas sistematicamente. Mudanças nos requisitos estatutários e regulamentares são rastreadas sistematicamente através de mecanismos formalmente planeados.	O processo de monitorização é avaliado periodicamente para melhorar a sua eficácia. O foco da monitorização é nos fornecedores, com foco limitado nas pessoas e outras partes interessadas. A realimentação de fornecedores-chave e parceiros-chave é coletada de maneira planeada. A realimentação de pessoas é coletada rotineiramente. As capacidades dos processos atuais são monitorizadas. Os processos de rastreamento de requisitos estatutários e regulamentares são eficazes e eficientes.	O processo de monitorização é realizado de forma sistemática e planeada e inclui verificações cruzadas com fontes externas de dados. Necessidades de recursos são avaliadas de forma sistemática e planeada ao longo do tempo. A realimentação das pessoas da organização e clientes é coletada através de pesquisas profissionalmente realizadas e outros mecanismos, tais como grupos de foco.	O processo de monitorização fornece dados confiáveis e tendências. O foco da monitorização é sobre as tendências do setor, das atividades, tecnologias e situação de trabalho da organização, com a otimização do uso e desenvolvimento de recursos. Mudanças que estão ocorrendo, ou são esperadas, nas políticas económicas, demanda de produtos, tecnologias, proteção ambiental, ou assuntos sociais e culturais, os quais poderiam ter impacto sobre o desempenho da organização, são monitorizados de forma planeada.
8.2 Monitoramento	Um conjunto muito limitado de dados a partir de medições e avaliações está disponível para apoio às decisões gerenciais ou rastreamento do progresso das ações tomadas. Indicadores básicos (como critérios financeiros, entregas no prazo, número de reclamações de clientes, notificações legais e multas) são utilizados. Dados não são sempre confiáveis.	Há um conjunto formal de definições para os indicadores-chave relacionadas com a estratégia da organização e os principais processos. Os indicadores são baseados principalmente na utilização de dados internos. As decisões gerenciais são suportadas pelas saídas das análises críticas do sistema de gestão da qualidade e pelos indicadores-chave adicionais de desempenho.	Objetivos em nível de processos estão relacionados com os indicadores-chave de desempenho. Dados estão disponíveis para mostrar como a organização compara o seu desempenho com o de outras organizações. As principais condições para o sucesso são identificadas e rastreadas por indicadores adequados e práticos. As decisões gerenciais são devidamente suportadas por dados confiáveis dos sistemas de medição.	Dados estão disponíveis para mostrar o progresso dos indicadores-chave de desempenho ao longo do tempo. O desdobramento da estratégia e dos objetivos é monitorizado. Os indicadores de desempenho são estabelecidos e amplamente utilizados para decisões estratégicas com respeito às tendências e planeamento de longo prazo. A análise sistemática dos dados permite que o desempenho seja previsto.	A análise sistemática de dados abrangentes permite que o desempenho futuro seja previsto com confiança. Indicadores contribuem para boas decisões estratégicas. Indicadores-chave de desempenho são selecionados e usados de forma que forneçam informações confiáveis para prever as tendências e tomada de decisões estratégicas. A análise de risco é realizada como uma ferramenta para a priorização das melhorias.

(Fonte: ISO 9004:2010).

Tabela 69 (continuação) - Autoavaliação dos elementos detalhados da seção 8: Monitoramento, medição, análise e revisão.

Elementos-chave	Nível de Maturidade				
	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5
8.3.3 Auditoria Interna	Alguns dados são coletados, mas nenhuma abordagem formal é utilizada.	Alguns dados são coletados a partir de processos-chave regularmente.	A coleta de dados é incorporada em um processo estruturado.	Os processos de coleta de dados são continuamente avaliados e sua eficácia e eficiência melhoradas.	A organização envolve outras partes interessadas em suas auditorias, a fim de ajudar a identificar oportunidades adicionais para melhoria.
	As auditorias são realizadas reativamente em resposta a problemas, reclamações de cliente, etc.	Os dados de auditoria são utilizados sistematicamente para análise crítica do sistema de gestão.	Quando necessário, estudos qualificados são realizados para verificar os dados, particularmente quando os dados são provenientes de julgamentos e opiniões, etc.	Auditórias asseguram a precisão dos dados e a eficácia do sistema de gestão.	
8.3.4 Autoavaliação	Os dados coletados são principalmente utilizados para resolver problemas com os produtos.	A autoavaliação é limitada.	Autoavaliação são realizadas e os resultados usados para determinar a maturidade da organização e para melhorar o seu desempenho global.	Lacunas identificadas a partir dos níveis de maturidade mais elevados são comparadas com a visão e estratégia, e a organização toma ação para preenchê-las de forma planeada.	Autoavaliações são realizadas pela organização em todos os níveis.
8.3.5 Benchmarking	Intercâmbio das melhores práticas dentro da organização é ocasional. Algumas comparações de produtos são feitas com produtos do mercado.	A alta direção apoia a identificação e implementação das melhores práticas.	Algumas atividades externas de <i>benchmarking</i> são apoiadas pela liderança da organização (abrangendo produtos, processos e operações).	Uma metodologia de <i>benchmarking</i> é estabelecida.	<i>Benchmarking</i> é usado sistematicamente como uma ferramenta para identificar oportunidades de melhoria, inovação e aprendizagem.
		Alguns produtos de concorrentes-chave são analisados e comparados.		Medições-chave e de desempenho são submetidos a <i>benchmarking</i> interno e externo, utilizando uma metodologia estruturada.	A organização é frequentemente solicitada por entidades externas para ser um parceiro de <i>benchmarking</i> .

(Fonte: ISO 9004:2010).

Tabela 69 (continuação) - Autoavaliação dos elementos detalhados da seção 8: Monitoramento, medição, análise e revisão.

Elementos-chave	Nível de Maturidade				
	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5
8.4 Análise	<p>Apenas exemplos ocasionais da análise de dados são usados.</p> <p>Somente objetivos económicos e financeiros têm sido definidos como referência para análise de dados.</p> <p>Existe uma análise limitada das reclamações dos clientes.</p>	<p>Análise da informação externa e interna relevante é realizada periodicamente.</p> <p>Algumas ferramentas básicas de estatística são utilizadas.</p> <p>Avaliações são realizadas para determinar o nível de atendimento das necessidades e expectativas do cliente. Melhorias do produto são baseadas nestas análises.</p> <p>O impacto das mudanças dos requisitos estatutários e regulamentares em processos e produtos é analisado periodicamente.</p>	<p>Um processo de análise sistemática é apoiado pela ampla utilização de ferramentas estatísticas.</p> <p>Análises são utilizadas para a identificação de necessidades e expectativas das partes interessadas pertinentes.</p> <p>Decisões e ações eficazes são baseadas na análise das informações.</p>	<p>Um processo de análise é utilizado para a avaliação de novos recursos materiais e tecnologias.</p> <p>A eficácia do processo de análise é reforçada através da partilha dos resultados das análises com parceiros ou outras fontes de conhecimento.</p> <p>Características distintas do produto são identificadas e valor é adicionado aos produtos para partes interessadas, com base nas entradas da análise da informação.</p>	<p>Dados políticos, ambientais, sociais, tecnológicas e comparativos pertinentes são analisados e usados.</p> <p>Riscos e oportunidades que poderiam impactar a realização dos objetivos de curto e longo prazo são identificados e analisados.</p> <p>Decisões sobre estratégia e política são baseadas em informações que são coletadas e analisadas de forma planeada.</p>
8.5 Análise Crítica das informações de Monitorização, Medição e Análise	<p>Existe uma abordagem <i>ad hoc</i> para análises críticas.</p> <p>Quando uma análise crítica é realizada, é frequentemente reativa.</p>	<p>Análises críticas periódicas são conduzidas para avaliar o progresso na realização dos objetivos da qualidade e avaliar o desempenho do sistema de gestão da qualidade.</p> <p>Todos os projetos ativos e ações de melhoria são avaliados durante as análises críticas, a fim de avaliar o progresso em relação aos seus planos e objetivos.</p>	<p>Análises críticas sistemáticas dos indicadores-chave de desempenho e objetivos relacionados são realizadas regularmente.</p> <p>Onde tendências adversas são identificadas, elas são tratadas.</p> <p>Análises críticas fornecem uma indicação se recursos adequados foram fornecidos.</p>	<p>As saídas das análises críticas são partilhadas com algumas partes interessadas, como uma forma de facilitar a colaboração e aprendizagem.</p> <p>Comparações internas são feitas para identificar e partilhar boas práticas.</p>	<p>Diferentes fontes de informações indicam o desempenho em todas as áreas estratégicas e operacionais da organização.</p> <p>As saídas das análises críticas são partilhadas com os parceiros e são utilizadas como contribuição para a melhoria de produtos e processos que podem influenciar o seu nível de desempenho e satisfação.</p> <p>Os resultados das análises críticas demonstram que as ações tomadas são eficazes.</p>

NOTA: O nível atual de maturidade dos elementos individuais da organização é o mais alto alcançado até aquele nível sem lacunas precedentes nos critérios.

(Fonte: ISO 9004:2010).

Tabela 70 - Autoavaliação dos elementos detalhados da seção 9: Melhoria, inovação e aprendizagem.

Elementos-chave	Nível de Maturidade				
	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5
9.1 (Melhoria, Inovação e Aprendizagem) Generalidades	Atividades de melhoria são <i>ad hoc</i> e baseadas em reclamações de clientes ou regulamentares.	Processos básicos de melhoria baseados em ações corretivas e preventivas em uso. A organização fornece formação para melhoria contínua.	Esforços de melhoria podem ser demonstrados na maioria dos produtos e principais processos da organização. O foco nos processos de melhoria está alinhado com a estratégia e os objetivos. Sistemas de reconhecimento para equipas ou indivíduos que geram melhorias estrategicamente relevantes estão em uso.	Resultados gerados a partir dos processos de melhoria elevam o desempenho da organização. Os processos de melhoria são sistematicamente analisados criticamente.	Há evidências de uma forte relação entre atividades de melhoria e obtenção de resultados acima da média do ramo de atividade da organização. A melhoria está incorporada como uma atividade de rotina em toda a organização, bem como para seus fornecedores e parceiros. O foco está em melhorar o desempenho da organização, incluindo sua capacidade de aprender e mudar.
			Processos de melhoria contínua funcionam em alguns dos níveis da organização, e com seus fornecedores e parceiros.	A melhoria é aplicada a produtos, processos, estruturas organizacionais, modelo operacional e sistema de gestão da organização.	
9.2 Melhoria					
9.3 Inovação	Há inovação limitada. Novos produtos são introduzidos de forma <i>ad hoc</i> , sem planeamento para inovação.	As atividades de inovação são baseadas em dados relativos às necessidades e expectativas dos clientes.	O processo de inovação para novos produtos e processos é capaz de identificar mudanças no ambiente da organização, a fim de planejar inovações.	As inovações são priorizadas com base no equilíbrio entre a sua urgência, a disponibilidade de recursos e a estratégia da organização. Fornecedores e parceiros são envolvidos no processo de inovação. A eficácia e eficiência do processo de inovação são avaliadas regularmente como parte do processo de aprendizagem.	As atividades de inovação antecipam possíveis mudanças no ambiente da organização. Planos preventivos são desenvolvidos para evitar ou minimizar os riscos identificados que acompanham as atividades de inovação. A inovação é aplicada a produtos, processos, estruturas organizacionais, modelo organizacional e sistema de gestão da organização.

(Fonte: ISO 9004:2010).

Tabela 70 (Continuação) - Autoavaliação dos elementos detalhados da seção 9: Melhoria, inovação e aprendizagem.

Elementos-chave	Nível de Maturidade				
	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5
9.4 Aprendizagem	Algumas lições são aprendidas como resultado de reclamações. A aprendizagem se dá em uma base individual, sem a partilha de conhecimento.	A aprendizagem é gerada de forma reativa a partir de análise sistemática de problemas e outros dados. Processos existem para a partilha de informação e conhecimento.	Existem atividades, eventos e fóruns planeados para partilha de informação. Um sistema está em uso para reconhecer resultados positivos de sugestões ou lições aprendidas. A aprendizagem é abordada na estratégia e nas políticas.	O conhecimento é reconhecido como uma questão-chave. Trabalho em rede, conectividade e interatividade são estimulados pela alta direção para partilha de conhecimento. A alta direção apoia iniciativas para aprendizagem, e dá o exemplo. A capacidade de aprendizagem da organização integra competência pessoal e organizacional. O conhecimento é fundamental para os processos de melhoria e inovação.	A cultura de aprendizagem permite a consideração de riscos e a aceitação de falha, desde que isso leve a aprendizagem a partir dos erros e oportunidades de melhoria. Existem engajamentos externos com propósito de aprendizagem.

NOTA: O nível atual de maturidade dos elementos individuais da organização é o mais alto alcançado até aquele nível sem lacunas precedentes nos critérios.

(Fonte: ISO 9004:2010).

ANEXO VI

Tabela 71 - Grelha de maturidade organizacional da manutenção proposta por Wireman.

Categorias de Medição	Estágio I: Incerteza	Estágio II: Despertar	Estágio III: Esclarecimento	Estágio IV: Sabedoria	Estágio V: Certeza
Atitude de Gestão da unidade fabril	Nenhum a compreensão da prevenção de manutenção "corrigi-lo quando se está quebrado.	Reconhece que a manutenção pode ser melhorada, mas não está disposto a financiar.	Aprende mais sobre ROI, torna-se mais interessado e solidário.	Atitude participativa; reconhece apoio à gestão é mandatária.	Inclui manutenção como uma parte do sistema total da empresa.
Estado da organização da Manutenção	REATIVA: Atuação no equipamento quando falham; pouca produtividade.	CONSCIENTE: Ainda reativa, mas reconstrói principais componentes e tem peças de reposição disponíveis quando ocorrem falhas.	PREVENTIVA: Usa inspeções de rotina, lubrificação, ajustes e Serviços menores para melhorar o MTBF dos equipamentos.	PREDICTIVA: Utiliza técnicas como análise de vibração, termografia, espectrografia, NDT, sônica, etc., para monitorar a condição do equipamento, permitindo a substituição proactiva e solução de problemas ao invés de resolver falhas.	PRODUCTIVO: Combina técnicas preditivas com o envolvimento do operador para deixar livre os técnicos de manutenção de modo a concentrarem-se em análise de dados de reparos, bem como nas principais atividades de manutenção.
Percentagem dos recursos de manutenção desperdiçados	30+%	20-30%	10-20%	5-10%	Menos que 5%
Resolução de problemas de manutenção	Os problemas são combatidos à medida que são descobertos.	Correções de curto alcance; Inicia análise de falha de forma elementar.	Problemas resolvidos com contributo da manutenção, operações e engenharia.	Problemas são antecipados; Forte disciplina em equipa na resolução de problemas.	Os problemas são evitados.
Qualificação dos trabalhadores da manutenção e Formação	Baixa qualidade de trabalho são aceites, rigidez, habilidades ultrapassadas, treinamento de habilidades visto como tempo gasto e desnecessário; rotatividade baixa dos trabalhadores / apatia.	Falta de habilidades dos colaboradores para solucionar avarias; identificadas obsolescências de competências; necessidade de formação reconhecida; remuneração tradicional questionada.	Qualidade + Qualidade = Qualidade; Papéis de trabalho compartilhados/ expandidas; algumas "habilidades críticas" desenvolvidos; despesas de formação reembolsado; novo nível de remuneração por habilidades específicas; aumento da rotatividade / medo da mudança.	Um trabalho de qualidade é esperado; "várias habilidades "; habilidades em dia e controladas; formação requisitada e prestada; remuneração de acordo com a progressão da competência.	Orgulho e profissionalismo permeiam; flexibilidade; qualificação para os operadores para atender necessidades futuras, onde são treinados pela manutenção, treinamento contínuo; % do salário com base na produtividade das empresas; baixa rotatividade de funcionários/alto entusiasmo.

(Fonte: Wireman, 1992).

Tabela 71 (continuação) - Grelha de maturidade organizacional da manutenção proposta por Wireman.

Categorias de Medição	Estágio I: Incerteza	Estágio II: Despertar	Estágio III: Esclarecimento	Estágio IV: Sabedoria	Estágio V: Certeza
Informação da manutenção e Ações de melhoria	Manutenção tenta manter registros; não há disciplina; escassez de dados.	Um sistema de criação de ordens de trabalho manual ou computadorizado é utilizado pela manutenção; pouca ou nenhum planeamento de atividades programadas.	Um sistema de criação de ordens de trabalho manual ou computadorizado é utilizado pela manutenção, operações e engenharia; existência de planejadores; programação aplicada.	Um sistema de controlo informatizado de manutenção é utilizado pela empresa; a informação é confiável e precisa	A informação da manutenção está integrada na empresa.
Resumo da posição da manutenção na organização	"Não sabemos por que o equipamento quebra; por isso que nós pagamos para haver manutenção. Claro, nossas taxas de perdas são elevados, mas isso não é um problema de manutenção."	"Será que os nossos concorrentes têm esses tipos de problemas com seus equipamentos? Scrap está nos custando um fardo!"	"Com o novo compromisso da gestão, podemos começar a identificar e resolver problemas."	"Todos estão comprometidos na manutenção da qualidade como parte de encaminhamento da nossa filosofia operacional. Nós não podemos fazer produtos de qualidade com equipamentos mal conservados."	"Nós não esperamos avarias e somos surpreendidos quando elas ocorrem; manutenção contribui para o resultado final."

(Fonte: Wireman, 1992).

Tabela 72 - Grelha de maturidade da manutenção proposta por Cambell & Reyes-Picknell.

Categorias de Medição	Estágio I:	Estágio II:	Estágio III:	Estágio IV:	Estágio V:
	Inocência	Consciência	Entendimento	Competência	Excelência
Estratégia	Estratégia não documentada. A manutenção é largamente reativa.	Metas documentadas, mas não há planos.	Administração definiu estratégia e planos.	Estratégia completa desenvolvida pelo pessoal-chave com os planos.	Estratégia completa elaborada com a plena participação, incluindo planos.
Pessoas	Organização centralizada baseadas em negociações limitadas.	Organização parcialmente descentralizada e baseadas em negociações.	Alguma polivalência. Principalmente distribuído equipas de manutenção com supervisão convencional.	Polivalência e gestão das equipas de mantenedores e operadores.	Polivalência totalmente desenvolvida, equipas autônomas no lugar.
Gestão das atividades	Sem planeamento, pouca programação e fraco cumprimento das atividades agendadas.	50% das atividades programadas são cumpridas. Planos apenas para paradas.	Agendamento estabelecido, bom cumprimento. Planeamento para uma grande atividade e paralisações conforme surgem trabalhos.	Programação e planeamento bem definido para a maioria dos trabalhos.	Ciclos de planeamento de longo prazo e uso extensivo de planos de trabalho padrão.
Gestão de materiais	Ruturas frequente. Nível de serviço de má qualidade. Atividades com frequência à espera de peças.	Planos de melhoria de inventário no lugar. Medição de desempenho do nível de estoque começaram.	Giros de estoque > 0.7. Nível de serviço maior que 90%. Análise de inventário está sendo executada.	Giros de estoque > 1. Nível de serviço maior que 95%. Falta de itens em estoque menor que 5%.	Falta de itens em estoque é rara. Nível de serviço maior que 98%. Giros de estoque > 2 vezes.
Cuidados básicos	Pobre conformidade regulatória. Mínima ou não existente programação de atividades preventivas - PM. Condição pobre do equipamento.	Pobre conformidade regulatória. Programa de PM em desenvolvimento utilizando métodos tradicionais. Equipamento em boas condições.	Conformidade regulamentar parcial. Programa de PM baseado em tarefas de intervalo fixo com pouca CBM. Equipamento em boas condições.	Conformidade regulatória integral. Programa de PM apresenta extenso CBM. Operadores ajudam com PM. Equipamento em boa condição.	Conformidade regulatória integral. Programa de PM apresenta extenso CBM. Operadores fazem algumas pequenas PM. Equipamento em boa condição.
Gestão de desempenho	Apenas as medidas financeiras sendo observadas, mas nenhuma análise de custos realizada.	Medidas financeiras utilizadas para analisar os padrões de gastos. Alguns registos de tempo de inatividade.	Medidas básicas de desempenho da manutenção em uso.	Medidas de fiabilidade no uso e melhoria de programas de monitoramento, tendências a serem analisadas.	Uso do balanced scorecard para avaliar o resultado das equipas. Melhora de resultados evidentes nas tendências de desempenho.
Sistemas de apoio	Pouco ou nenhum uso de sistemas de gestão. Pode estar usando variedade de sistemas apenas para um fim específico.	Uso de sistemas de gestão é irregular e oferecendo pouca saída de grande valia. Sistemas para uso específico ainda em uso. Apoio ao CBM sendo considerado.	Sistemas de gestão em uso. Algum relatório é usado. Algum apoio para CBM em uso.	Extensivo uso de Sistemas de gestão usados principalmente pela administração. Algum CBM, análise de fiabilidade e sistemas de apoio à decisão em uso.	Aceitação total do usuário e uso generalizado de sistemas de gestão. CBM, análise de fiabilidade e sistemas de apoio à decisão em uso.

(Fonte: Campbell & Reyes-Picknell, 2006).

Tabela 72 (continuação) - Grelha de maturidade da manutenção proposta por Cambell & Reyes-Picknell.

Categorias de Medição	Estágio I:	Estágio II:	Estágio III:	Estágio IV:	Estágio V:
	Inocência	Consciência	Entendimento	Competência	Excelência
Fiabilidade dos ativos	Abundância de tempo de inatividade, mas nenhuma análise de causas ou tentativas de melhorar.	A análise do tempo de inatividade é realizada e algumas melhorias são implementadas.	Programa de melhoria da fiabilidade em uso e no lugar. RCFA e possível otimização das atividades preventivas - PM - em uso.	RCM em uso para definir programas de PM. RCFA em uso.	PM programa totalmente desenvolvido utilizando RCM. RCFA utilizada, mas não necessariamente muito frequentemente. Entradas para projetar de novos ativos.
Trabalho em equipa	Sem trabalho em equipa. Supervisão convencional.	Mistura de trabalhos centralizados e dos indivíduos designados para áreas de produção. Supervisão convencional.	Área de manutenção trabalhando em equipas sob supervisão (supervisor de manutenção). Operações separadas.	Área - ou unidade - baseada em equipas (mantenedores e operadores) e com gerência. Padrões de manutenção aplicadas em cada área.	Equipas autónomas dos mantenedores e operadores usados extensivamente. Suporte pela administração e especialistas. Padrões de manutenção consistentes em uso.
Processos	Processos não documentados e ineficientes. Abundância de soluções alternativas. Abundância de reclamações.	Documentos processados, mas não revisados. Soluções alternativas em uso. Ineficiência evidente particularmente nas atividades funcionais.	Processos de manutenção revistos. Processos de uso comum entre as áreas não revistos. Soluções alternativas em uso.	Processos são eficientes e eficazes. Algumas soluções podem estar em uso. Avaliações realizadas com pouca frequência.	Processos são eficientes e eficazes. Não há soluções alternativas em uso. Revisões periódicas realizadas para manter os processos atualizados. Sistemas de apoio automatizam partes do processo.

(Fonte: Campbell & Reyes-Picknell, 2006).

Tabela 73 - Grelha de maturidade organizacional da manutenção proposta por Cholasuke *et al.*

Classes de Medição	Nível 1	Nível 2	Nível 3
	Inocência	Entendimento	Excelência
Efetividade da manutenção (Saída)	OEE inferior a 20%. Departamento de manutenção foi avaliado como tendo insatisfatório desempenho da manutenção.	OEE entre 20-80%. Departamento de manutenção foi avaliado como tendo satisfatório desempenho da manutenção.	OEE acima de 80%. Departamento de manutenção foi avaliado como tendo desempenho da manutenção muito satisfatório.
Desdobramento da política e Organização	Nenhuma política de manutenção formal. Departamento de manutenção Incorporado com a produção.	Política de manutenção definida e em vigor. Possui gerente de nível médio ou júnior responsável pela manutenção. Manutenção sob a produção. A política é ocasionalmente revista mas sem envolvimento da direção.	Tem uma política de manutenção definida, que é derivada a partir da estratégia de negócios ou de produção. Dirigentes envolvidos na definição de políticas, e a política é revista periodicamente.
Abordagem da manutenção	Dependem fortemente de uma estratégia de manutenção reativa (> 50% de esforço). Nenhum envolvimento da operação em manutenção.	Tem manutenção preventiva como uma abordagem principal. Algum envolvimento operacional em manutenção.	Empregam estratégia de manutenção pró-ativa para a melhoria sustentável. Todos os problemas são analisados e permanentemente resolvidos. Manutenção autônoma é aplicada.
Planeamento e Programação de tarefas	Menos de 50 % trabalho planejado é realizado. Elevadas horas extras (> 30%).	Mais de 50% trabalho planejado é realizado. Horas extras relativamente elevadas (> 15%).	Mais de 90% trabalho planejado é realizado. Quantidade de horas extras é baixa (<15%).
Gestão da informação e CMMS	CMMs não é usado. Trabalho manual. Lote de informações fluem no papel. Nenhum sistema de medição de desempenho é utilizado.	CMMs ou, pelo menos, computadores são usados. Tem medição de desempenho. CMMs não são muito bem utilizados e os benefícios não são plenamente realizados.	CMMs integrado é usado. Melhor utilização dos recursos do CMMs e os benefícios de CMMs são realizados.
Subcontratação de atividades da manutenção	Obtém baixo ou nenhum benefício ao subcontratar a manutenção.	Obtém algum benefício ao subcontratar a manutenção.	Obtém grandes benefícios ao subcontratar a manutenção.
Melhoria contínua	Não tem PM ou TPM ou RCM. Baixo envolvimento da gestão. Manutenção reativa é muito comum.	Tem PM em vigor, com o envolvimento da gestão na definição de políticas e revisões.	Manutenção proactiva. TPM ou RCM aplicada, medições de desempenho estão em vigor e efetivamente utilizadas.

(Fonte: Cholasuke *et al.*, 2004).

Tabela 73 (continuação) - Grelha de maturidade organizacional da manutenção proposta por Cholasuke *et al.*

Classes de Medição	Nível 1 Inocência	Nível 2 Entendimento	Nível 3 Excelência
Aspectos financeiros	Sem registo das despesas da manutenção. Sem orçamento para a manutenção. Má compreensão das perdas de produção e seus custos associados.	Despesas da manutenção são relativamente elevadas devido à falta de controlo eficiente de custos. Perda de produção são medidas mas não investigadas.	Despesas de manutenção baixas e com um desempenho eficaz. Excelente controle de orçamento. As perdas de produção são medidas e investigadas.
Gestão de recursos humanos	Nenhum treinamento . Falta de habilidades de manutenção. Falta de motivação. Número relativamente elevado de funcionários de manutenção, mas de baixo desempenho.	Baseado em formação técnica, mas tem algum trabalho em equipa, e formação em resolução de problemas. Descrição do cargo é bem compreendida. Bom desempenho, mas gestão de recursos humanos não é eficiente.	Ênfase na gestão da formação orientada para as necessidades futuras. Descrição do cargo é bem compreendida. Pessoal da manutenção estão bem motivados.
Gestão de estoque	Sem registo de estoque de peças de reposição. Sistema para controlo de estoque não é utilizado.	O valor de peças de substituição no estoque/planta é relativamente elevado em comparação com o melhor da sua classe. Nenhum uso de Pareto.	O valor de peças de substituição no estoque/planta é baixo. Pareto é efetivamente usado para controlar requisitos de estoque.

(Fonte: Cholasuke *et al.*, 2004).