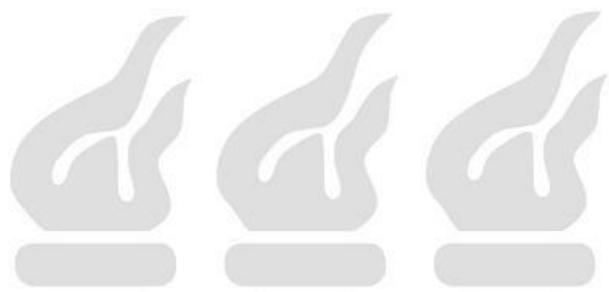


UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA



LARISSA MARIA FIGUEIRÔA BACELAR

**GESTÃO DA MANUTENÇÃO BASEADA EM MODELO DE DECISÃO  
MULTICRITÉRIO FUZZY TOPSIS: UMA ESTRATÉGIA CHAVE PARA A  
PRODUTIVIDADE**



Recife

2018

LARISSA MARIA FIGUEIRÔA BACELAR

**GESTÃO DA MANUTENÇÃO BASEADA EM MODELO DE DECISÃO  
MULTICRITÉRIO FUZZY TOPSIS: UMA ESTRATÉGIA CHAVE PARA A  
PRODUTIVIDADE**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Pernambuco como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Elétrica.

Área de Concentração: Processamento de Energia

Orientador: Prof. Dr. Cícero Mariano Pires dos Santos

Recife

2018

Catálogo na fonte  
Bibliotecária Valdicéa Alves, CRB-4 / 1260

B116g	<p data-bbox="395 1012 1345 1198">Bacelar, Larissa Maria Figueirôa. Gestão da manutenção baseada em modelo de decisão multicritério fuzzy topsis: uma estratégia chave para a produtividade / Larissa Maria Figueirôa Bacelar - 2018. 249folhas, Il.; Tabs.; Abr. e Sigl.</p> <p data-bbox="443 1232 1098 1272">Orientador: Prof. Dr. Cícero Mariano Pires dos Santos.</p> <p data-bbox="395 1344 1345 1451">Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, 2018. Inclui Referências e Apêndices.</p> <p data-bbox="395 1489 1345 1597">1. Engenharia Elétrica. 2. Modelo de Decisão Multicritério. 3. TOPSIS. 4. Lógica <i>Fuzzy</i>. 5. Avaliação da Manutenção. 6. Gestão da Manutenção. I. Santos, Cícero Mariano Pires dos (Orientação). II. Título.</p> <p data-bbox="1053 1713 1133 1747">UFPE</p> <p data-bbox="443 1803 694 1836">621.3 CDD (22. ed.)</p> <p data-bbox="1053 1803 1276 1836">BCTG/2019 - 053</p>
-------	--



**Universidade Federal de Pernambuco**  
***Pós-Graduação em Engenharia Elétrica***

PARECER DA COMISSÃO EXAMINADORA DE DEFESA DE  
DISSERTAÇÃO DO MESTRADO ACADÊMICO DE

**LARISSA MARIA FIGUEIRÔA BACELAR**

TÍTULO

**“GESTÃO DA MANUTENÇÃO BASEADA EM MODELO DE  
DECISÃO MULTICRITÉRIO FUZZY TOPSIS:  
UMA ESTRATÉGIA CHAVE PARA A PRODUTIVIDADE”**

A comissão examinadora composta pelos professores: CÍCERO MARIANO PIRES DOS SANTOS, DEE/UFPE; RONALDO RIBEIRO BARBOSA DE AQUINO, DEE/UFPE e ANDRÉ MARQUES CAVALCANTI, DCA/UFPE, sob a presidência do primeiro, consideram a candidata **LARISSA MARIA FIGUEIRÔA BACELAR** **APROVADA.**

Recife, 20 de dezembro de 2018.

---

**MARCELO CABRAL CAVALCANTI**  
Coordenador do PPGEE

---

**CÍCERO MARIANO PIRES DOS SANTOS**  
Orientador e Membro Titular Interno

---

**ANDRÉ MARQUES CAVALCANTI**  
Membro Titular Externo

---

**RONALDO RIBEIRO BARBOSA DE  
AQUINO**  
Membro Titular Interno

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente à Deus por conduzir meu caminho, concedendo sabedoria e sempre me dando forças para renovar a cada dia minha fé de uma vida melhor e mais plena.

Agradeço aos meus pais, Izaldo e Betânia, pelo empenho na formação educacional e cidadã, e por ser fonte de apoio incondicional em todas as decisões importantes da minha carreira, sendo um recanto de conforto para mim.

Agradeço aos meus irmãos, Izaldo e Tibério, pelo apoio logístico e de suporte a informática, possibilitando a condução deste trabalho na resolução de problemas técnicos.

Agradeço ao meu noivo e grande companheiro, Paulo Rogério, por sua compreensão e incentivo em todos os dias da minha vida, sempre me encorajando a dar o meu melhor e confiar sempre em minha capacidade.

E com uma deferência muito especial, agradeço ao meu caríssimo orientador Prof. Cícero Mariano Pires dos Santos, por sua dedicação, motivação, empenho e senso profissional na condução deste trabalho e pela paciência em todos ensinamentos passados, sempre confiando em meu potencial, sendo mais do que um orientador, um amigo.

Agradeço ao apoio financeiro oferecido pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), apoio que foi de grande importância.

Agradeço a todos que contribuíram direta ou indiretamente com a produção deste documento.

## RESUMO

A Manutenção é uma das funções mais cruciais no atual ambiente competitivo de produção. Conseqüentemente, a seleção e a elucidação de estratégias, que auxiliem na tomada de decisão e que promovam soluções para os problemas encontrados na gestão da Manutenção, desempenham um papel significativo para o aumento de produtividade das empresas. No presente trabalho é desenvolvido um modelo de tomada de decisão multicritério utilizando a Técnica de Ordenamento por Preferência de Semelhança com a Solução Ideal (*Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution - TOPSIS*) com o auxílio dos Conjuntos *Fuzzy*. O modelo proposto é constituído por algumas fases, destacando-se: o diagnóstico da gestão de Manutenção, segundo os padrões da Manutenção de Classe Mundial, presentes na literatura, visando a identificação dos principais problemas; em seguida, procede-se a hierarquização desses problemas, em função da correlação com critérios relacionados à máxima produtividade do negócio; e por fim são recomendadas ações, fundamentadas em estratégias sustentadas na pesquisa bibliográfica, para o atingimento de novos patamares de produtividade. Para validação da metodologia, foram realizados três estudos de caso, utilizando os resultados de questionários aplicados em três empresas, previamente pesquisadas por uma das referências do trabalho. Foram realizadas simulações computacionais através do algoritmo *Fuzzy TOPSIS*, desenvolvido em linguagem de programação do MATLAB. Nas simulações é realizada a correlação dos problemas com os critérios escolhidos, e ponderados utilizando conjuntos *Fuzzy*, incorporando a opinião de especialistas, com sólida experiência em gestão de Manutenção. Os resultados obtidos forneceram evidências da viabilidade do modelo desenvolvido, sob a perspectiva da indústria, dado que os problemas priorizados inter-relacionavam-se entre si e eram advindos das áreas avaliadas como mais críticas na manutenção das empresas pesquisadas. Os resultados das análises realizadas evidenciam que o Modelo de Decisão Multicritério *Fuzzy TOPSIS* desenvolvido possibilita, portanto, que as empresas façam uso do mesmo para encontrar soluções com abordagens sistêmicas, priorizando a elevação da produtividade total da organização.

Palavras-chave: Modelo de Decisão Multicritério. TOPSIS. Lógica *Fuzzy*. Avaliação da Manutenção. Gestão da Manutenção.

## ABSTRACT

Maintenance is one of the most crucial functions in today's competitive production environment. Consequently, the selection and elucidation of strategies, which aid in decision making and that promote solutions to the problems encountered in Maintenance management, play a significant role in increasing the productivity of companies. In the present work, a Multiple Criteria Decision Making (MCDM) model is developed using the Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) with the aid of the Fuzzy Sets. The proposed maintenance management model consists of some phases, namely: the evaluation, based on a questionnaire, that seeks to diagnose maintenance management according to World Class Maintenance standards, present in the literature, aiming to identify the main problems encountered in the organization of Industrial Facilities Maintenance; then, the hierarchy of these problems is carried out, in function of the correlation with the criteria related to the quest to reach the maximum business productivity, using Fuzzy TOPSIS; and finally, actions based on sustained strategies in bibliographical research are recommended to reach new productivity levels. To validate the methodology, three case studies were carried out, using the results of questionnaires applied in three companies, previously surveyed by one of the references of this research. In this work, computational simulations of the TOPSIS Fuzzy algorithm were performed through MATLAB. In the simulations, the correlation of the problems with the chosen criteria, weighted according to the Fuzzy logic, was developed incorporating expert opinion, with solid experience in maintenance management. The results obtained provided evidence of the viability of the developed model, under the industry perspective, once the prioritized problems the prioritized problems interrelated with each other and came from the areas evaluated as the most critical in the maintenance of the surveyed companies. Therefore, the results of the analyzes show that the FUZZY TOPSIS MCDM model developed in this work enables that companies use it to find solutions with systemic approaches, prioritizing the increase of the total organization productivity.

Keywords: Multiple Criteria Decision Making. TOPSIS. Fuzzy Logic. Maintenance Performance Measurement. Maintenance Management.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Quadro 1 – Métodos de MCDM .....	18
Figura 1 – Evolução da Manutenção.....	23
Figura 2 – Custo versus Nível de MP.....	26
Figura 3 – Fluxograma para a Escolha da Prática de Manutenção .....	30
Figura 4 – Utilização das Práticas de Manutenção.....	31
Figura 5 – Detalhamentos das perdas, para o cálculo do OEE.....	43
Figura 6 – Pilares e atributos da MCM.....	46
Figura 7 – Estrutura organizacional da Manutenção Centralizada.....	50
Figura 8 – Estrutura organizacional da Manutenção Descentralizada.....	51
Figura 9 – Estrutura organizacional da Manutenção Mista.....	52
Figura 10 – Elementos chave do gerenciamento estratégico da manutenção.....	54
Figura 11 – Atribuições da Liderança na organização da Manutenção.....	57
Figura 12 – Principais indicadores de desempenho de manutenção na literatura.....	59
Figura 13 – Vinculação e relação entre objetivos corporativos e BSC com indicadores de desempenho de manutenção.....	64
Figura 14 – Posicionamento do PCM no organograma da manutenção.....	65
Figura 15 – Fluxo de Informações utilizando modelos de compartilhamento de informações entre demandantes e fornecedores.....	70
Figura 16 – Matriz de treinamento de funcionários.....	79
Figura 17 – Desenvolvimento de habilidades.....	80
Figura 18 – Exemplo de CMMS recomendado pelo TPM.....	87
Figura 19 – Processo de manutenção planejada utilizando o sistema de computação móvel.....	91
Figura 20 – Processo de manutenção não planejada utilizando o sistema de computação móvel.....	91
Figura 21 – Comparativo entre a lógica clássica e <i>Fuzzy</i> .....	98
Figura 22 – Número <i>Fuzzy</i> Trapezoidal.....	99
Figura 23 – Número <i>Fuzzy</i> Triangular.....	100
Figura 24 – Representação dos termos da variável linguística “Altura de um indivíduo” em conjuntos <i>Fuzzy</i> .....	101
Figura 25 – Números <i>Fuzzy</i> trapezoidais generalizados.....	102

Figura 26 – Modelo de processo decisório para o gerenciamento da Manutenção....	113
Figura 27 – Metodologia <i>Fuzzy</i> TOPSIS para apoio a decisão na gestão da Manutenção.....	114
Figura 28 – Processo de Auditoria recomendado pelo TPM.....	116
Figura 29 – Árvore de Decisão Multicritério.....	118
Figura 30 – Escala usada para ponderar os critérios de decisão.....	122
Figura 31 – Escala usada para avaliar a correlação entre as alternativas e os critérios de decisão .....	123
Figura 32 – Diagrama ilustrativo da ferramenta dos 5 porquês.....	130
Figura 33 – Diagrama de Ishikawa (Causa e Efeito).....	130
Figura 34 – Classificação das Empresas.....	158
Figura 35 – Pontuação por tópico do questionário para a AREVA.....	159
Figura 36 – Estrutura de controle do gerenciamento de serviços da manutenção	161
Figura 37 – Implementação de um plano para melhorias para os problemas priorizados da AREVA.....	164
Figura 38 – Pontuação por tópico do questionário para a IMBEL.....	165
Figura 39 – Implementação de um plano para melhorias para o problema mais prioritário da IMBEL.....	169
Figura 40 – Pontuação por tópico do questionário para a MAHLE.....	170
Figura 41 – Plano de Melhorias para os problemas priorizados da MAHLE.....	174

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Evolução do TPM.....	35
Tabela 2 –	Etapas de Implantação do TPM.....	39
Tabela 3 –	Benefícios e Limitações da Manutenção Centralizada .....	50
Tabela 4 –	Benefícios e Limitações da Manutenção Descentralizada.....	51
Tabela 5 –	Indicadores de Performance de Manutenção.....	59
Tabela 6 –	Comparação entre sistemas de controle manual e informatizado.....	67
Tabela 7 –	Valores de Benchmarking para indicadores de MP.....	77
Tabela 8 –	<i>Status</i> de Avaliação.....	111
Tabela 9 –	Correlação entre as questões do questionário e os critérios do especialista A.....	126
Tabela 10 –	Correlação entre as questões do questionário e os critérios do especialista B.....	127
Tabela 11 –	Matriz de decisão Fuzzy.....	127
Tabela 12 –	Resumo das utilidades de algumas ferramentas da qualidade.....	129
Tabela 13 –	Modelo do plano de ação (5W2H).....	129
Tabela 14 –	Comparação das empresas pesquisadas por ROSA (2006).....	136
Tabela 15 –	Matriz de Decisão para a AREVA.....	137
Tabela 16 –	Matriz de Decisão para a IMBEL.....	139
Tabela 17 –	Matriz de Decisão para a MAHLE.....	141
Tabela 18 –	Matriz de decisão <i>Fuzzy</i> correspondente à unificação das opiniões dos dois especialistas.....	142
Tabela 19 –	Vetor <i>Fuzzy</i> de pesos dos critérios.....	143
Tabela 20 –	Matriz <i>Fuzzy</i> de decisão ponderada e normalizada.....	143
Tabela 21 –	FPIS e FNIS de acordo com os critérios.....	144
Tabela 22 –	Similaridade entre as alternativas de decisão e a FPIS com relação a cada um dos critérios.....	145
Tabela 23 –	Similaridade entre as alternativas de decisão e a FNIS com relação a cada um dos critérios.....	146
Tabela 24 –	Resultados dos valores de $S_i^+$ e $S_i^-$ e do Coeficiente de Similaridade para cada alternativa de decisão.....	146

Tabela 25 – Ranking dos problemas da manutenção a serem priorizados pela gestão da manutenção.....	147
Tabela 26 – Matriz de decisão <i>Fuzzy</i> correspondente à unificação das opiniões dos dois especialistas.....	148
Tabela 27 – Matriz <i>Fuzzy</i> de decisão ponderada e normalizada.....	149
Tabela 28 – FPIS e FNIS de acordo com os critérios.....	150
Tabela 29 – Similaridade entre as alternativas de decisão e a FPIS com relação a cada um dos critérios.....	151
Tabela 30 – Similaridade entre as alternativas de decisão e a FNIS com relação a cada um dos critérios.....	151
Tabela 31 – Resultados dos valores de $S_i^+$ e $S_i^-$ e do Coeficiente de Similaridade para cada alternativa de decisão.....	152
Tabela 32 – Ranking dos problemas da manutenção a serem priorizados pela gestão da manutenção.....	153
Tabela 33 – Matriz de decisão <i>Fuzzy</i> correspondente à unificação das opiniões dos dois especialistas.....	154
Tabela 34 – Matriz <i>Fuzzy</i> de decisão ponderada e normalizada.....	155
Tabela 35 – FPIS e FNIS de acordo com os critérios.....	155
Tabela 36 – Similaridade entre as alternativas de decisão e a FPIS com relação a cada um dos critérios.....	155
Tabela 37 – Similaridade entre as alternativas de decisão e a FNIS com relação a cada um dos critérios.....	156
Tabela 38 – Resultados dos valores de $S_i^+$ e $S_i^-$ e do Coeficiente de Similaridade para cada alternativa de decisão.....	156
Tabela 39 – Ranking dos problemas da manutenção a serem priorizados pela gestão da manutenção.....	156
Tabela 40 – Pontuação Global das Empresas.....	157
Tabela 41 – Os cinco problemas chaves da AREVA priorizados pelo algoritmo.....	158
Tabela 42 – Os cinco problemas chaves da IMBEL priorizados pelo algoritmo.....	165
Tabela 43 – Os cinco problemas chaves da MAHLE priorizados pelo algoritmo.....	170
Tabela 44 – Síntese da análise dos resultados da metodologia desenvolvida.....	178

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

MCDM	Multiple Criteria Decision Making
TOPSIS	Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution
MCM	Manutenção de Classe Mundial
NIES	Núcleo de Inovação, Empreendedorismo e Sustentabilidade
CCSA	Centro de Ciências Sociais Aplicadas
GSEM	Grupo de Sistemas Elétricos Mantidos
TPM	Total Productivity Maintenance
OS	Ordens de Serviço
MP	Manutenção Preventiva
MPRED	Manutenção Preditiva
TMEF	Tempo Médio Entre Falhas
CLP	Controladores Lógico Programáveis
JIPM	Japan Institute of Plant Maintenance
OEE	Overall Equipment Effectiveness
PME	Pequenas e Médias Empresas
CMMS	Computer Maintenance Management System
IPM	Indicadores de Performance de Manutenção
BSC	Balanced Scorecard
LCC	Life Cycle Cost
EFNMS	European Federation of National Maintenance Societies
SMRP	Society for Maintenance and Reliability Professionals
ABRAMAN	Associação Brasileira de Manutenção e Gestão de Ativos
SIM	Sistemas Inteligentes de Manutenção
PCM	Planejamento e Controle da Manutenção
ABC	Activity-Based Costing
ERP	Enterprise Resource Planning
PM	Plant Maintenance
SAP	Systems Applications and Products
MCC	Manutenção Centrada na Confiabilidade
WSM	Weighted Sum Method
AHP	Analytical Hierarchy Process
BDT	Boolean Decision Tree

FST	Fuzzy Set Theory
FPIS	Fuzzy Positive Ideal Solution
FNIS	Fuzzy Negative Ideal Solution
QFD	Quality Function Deployment

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>16</b>
1.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	16
1.2	OBJETIVO.....	17
1.3	MOTIVAÇÃO.....	17
1.4	BARREIRAS PARA O DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO.....	19
1.5	ORGANIZAÇÃO ESTRUTURAL DA DISSERTAÇÃO.....	20
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>22</b>
2.1	ORIGENS/EVOLUÇÃO DA MANUTENÇÃO.....	22
2.2	PRÁTICAS DE MANUTENÇÃO.....	24
<b>2.2.1</b>	<b>Manutenção Corretiva.....</b>	<b>24</b>
<b>2.2.2</b>	<b>Manutenção Preventiva.....</b>	<b>25</b>
<b>2.2.3</b>	<b>Manutenção Inteligente.....</b>	<b>29</b>
<b>2.2.4</b>	<b>Seleção das Práticas de Manutenção.....</b>	<b>30</b>
2.3	MANUTENÇÃO E SUA RELAÇÃO COM A PRODUTIVIDADE TOTAL.....	32
<b>2.3.1</b>	<b><i>Total Productivity Maintenance (TPM)</i>.....</b>	<b>32</b>
2.3.1.1	Histórico do TPM.....	33
2.3.1.2	Os Pilares do TPM.....	35
2.3.1.3	Etapas de Implantação do TPM.....	39
2.3.1.4	<i>Overall Equipment Effectiveness (OEE)</i> .....	42
2.3.1.5	Facilitadores e Obstáculos do TPM.....	44
2.4	MANUTENÇÃO DE CLASSE MUNDIAL.....	45
<b>3</b>	<b>MELHORES PRÁTICAS DE GESTÃO DA MANUTENÇÃO.....</b>	<b>48</b>
3.1	ORGANIZAÇÃO DA MANUTENÇÃO.....	49
3.2	PLANEJAMENTO, PROGRAMAÇÃO E CONTROLE DA MANUTENÇÃO.....	57
<b>3.2.1</b>	<b>Indicadores de Performance de Manutenção (IPM).....</b>	<b>58</b>
<b>3.2.2</b>	<b>Planejamento e controle da manutenção.....</b>	<b>65</b>
3.3	COMPRAS E ESTOQUE DE MANUTENÇÃO.....	68

3.4	ORDENS DE SERVIÇO.....	72
3.5	MANUTENÇÃO PREVENTIVA.....	74
3.6	PROGRAMAS DE TREINAMENTO.....	78
3.7	RELATÓRIOS GERENCIAIS.....	81
3.8	AUTOMAÇÃO DA MANUTENÇÃO – SISTEMAS COMPUTADORIZADOS DE GESTÃO DA MANUTENÇÃO.....	87
<b>4</b>	<b>ANÁLISE MULTICRITÉRIO DE APOIO À TOMADA DE DECISÃO NA MANUTENÇÃO.....</b>	<b>94</b>
4.1	FUNDAMENTOS DA TEORIA DA DECISÃO.....	94
4.2	MÉTODOS DE DECISÃO MULTICRITÉRIO.....	95
4.4	A LÓGICA <i>FUZZY</i> (DIFUSA) E O TRATAMENTO DA INCERTEZA.	96
<b>4.3.1</b>	<b>Teoria dos Conjuntos <i>Fuzzy</i>.....</b>	<b>97</b>
<b>4.3.2</b>	<b>Variáveis Linguísticas.....</b>	<b>100</b>
<b>4.3.3</b>	<b>Similaridade entre Números <i>Fuzzy</i>.....</b>	<b>101</b>
4.4	O MÉTODO <i>FUZZY</i> TOPSIS.....	104
4.5	O ALGORITMO <i>FUZZY</i> TOPSIS PROPOSTO.....	106
4.6	ESCOLHA DO MÉTODO DE ANÁLISE MULTICRITÉRIO.....	110
<b>5</b>	<b>METODOLOGIA PROPOSTA PARA O APOIO À DECISÃO NO GERENCIAMENTO DA MANUTENÇÃO.....</b>	<b>112</b>
5.1	O PROCESSO DE AUDITAGEM.....	114
5.2	ATORES NO PROCESSO DECISÓRIO.....	117
5.3	DEFINIÇÃO DOS CRITÉRIOS.....	118
5.4	DEFINIÇÃO DAS VARIÁVEIS LINGUÍSTICAS.....	121
5.5	PONDERAÇÃO DA IMPORTÂNCIA RELATIVA DOS CRITÉRIOS...	124
5.6	FORMULAÇÃO E AVALIAÇÃO DAS ALTERNATIVAS DE DECISÃO.....	124
5.7	APLICAÇÃO DO ALGORITMO E OBTENÇÃO DE RESULTADOS....	128
5.8	DIFICULDADES PARA IMPLEMENTAÇÃO DO MODELO DE PROCESSO DECISÓRIO.....	130
<b>6</b>	<b>APLICAÇÃO DA METODOLOGIA – EXEMPLOS NUMÉRICOS.</b>	<b>133</b>
6.1	APRESENTAÇÃO DAS EMPRESAS.....	133
<b>6.1.1</b>	<b>AREVA T&amp;D Brasil.....</b>	<b>133</b>

6.1.2	<b>IMBEL – Fábrica de Itajubá.....</b>	<b>134</b>
6.1.3	<b>Mahle Componentes de Motores do Brasil.....</b>	<b>135</b>
6.2	EXEMPLOS NUMÉRICOS.....	136
6.2.1	<b>Ponderação dos Critérios.....</b>	<b>136</b>
6.2.2	<b>Matriz de Decisão.....</b>	<b>137</b>
6.3	APLICAÇÃO E RESULTADOS DO ALGORITMO.....	142
6.3.1	<b>AREVA.....</b>	<b>142</b>
6.3.2	<b>IMBEL.....</b>	<b>148</b>
6.3.3	<b>Mahle.....</b>	<b>154</b>
6.4	ANÁLISE DOS RESULTADOS E RECOMENDAÇÕES PARA MITIGAR OS PROBLEMAS PRIORIZADOS.....	157
6.4.1	<b>Perfil da Manutenção das empresas estudadas.....</b>	<b>157</b>
6.4.1.1	AREVA.....	158
6.4.1.2	IMBEL.....	165
6.4.1.3	Mahle.....	170
7	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>175</b>
7.1	RECOMENDAÇÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	179
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>180</b>
	<b>APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO DESENVOLVIDO COMO COMPLEMENTO AO QUESTIONÁRIO DE MIRSHAWKA &amp; OLMEDO (1993).....</b>	<b>194</b>
	<b>APÊNDICE B – CÓDIGOS DE IMPLEMENTAÇÃO DO FUZZY TOPSIS EM LINGUAGEM DE PROGRAMAÇÃO MATLAB.....</b>	<b>221</b>
	<b>APÊNDICE C – RECOMENDAÇÃO PARA PONDERAÇÃO DE CRITÉRIOS PARA EMPRESAS DO SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO.....</b>	<b>228</b>
	<b>ANEXO A – QUESTIONÁRIO DESENVOLVIDO POR MIRSHAWKA &amp; OLMEDO (1993) E RESPONDIDO PELAS EMPRESAS AREVA, IMBEL E MAHLE.....</b>	<b>229</b>

# 1 INTRODUÇÃO

O atual capítulo apresenta as considerações iniciais, as contribuições desta dissertação e uma breve descrição da organização do texto, bem como algumas barreiras encontradas para o desenvolvimento do trabalho.

## 1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

No atual ambiente econômico competitivo, é essencial que as indústrias atinjam padrões de operação de classe mundial, juntamente com alta qualidade e entrega pontual de mercadorias. Isso requer excelentes práticas de manutenção, para que seja possível aumentar a disponibilidade das máquinas, reduzir o custo de produção e produzir mercadorias com o nível de qualidade desejado (PAI et al., 2018).

Como a eficiência e eficácia do sistema de manutenção desempenham um papel importantíssimo no sucesso e desenvolvimento de uma organização (MALETIČ et al. 2012) é essencial que o desempenho desse sistema seja mensurado (PARIDA E KUMAR, 2006). De acordo com MUCHIRI et al. (2011), a medição de desempenho é, portanto, um princípio fundamental de gerenciamento da função de manutenção. Além disso, as medidas de desempenho fornecem um elo importante entre as estratégias e ações de gestão e, portanto, apoiam a implementação e a execução de iniciativas de melhoria (NEELY et al., 2005).

Nesse sentido, uma abordagem sistemática para tomadas de decisões de ações de gestão de manutenção que promovam melhorias, visando solucionar os desvios nas medidas de desempenho e elevar a produtividade total da organização, deve estar em vigor. Para isso, quanto maior for o grau de estruturação dos problemas a serem solucionados, bem como dos objetivos e critérios relevantes à avaliação, maior será o suporte oferecido pelas ferramentas e métodos capazes de aumentar a racionalidade da decisão (HOLSAPPLE & WHINSTON, 1996; ANDRADE, 1998).

As técnicas de tomada de decisão multicritério (*Multiple Criteria Decision Making* – MCDM) se destacam no domínio de ferramentas de apoio à tomada de decisão pela capacidade de análise de modelos complexos, como as decisões no gerenciamento da manutenção (MACEDO, 2015). Além disso, como mencionado por VINCKE (1992), o apoio dado pelas técnicas MCDM possibilita melhorias na solução dos problemas, onde muitas vezes os objetivos e opiniões dos envolvidos no processo decisório pareçam contraditórios.

Entretanto, para lidar com tais sistemas de decisão é necessário o emprego de abordagens que sejam tolerantes com as imprecisões e verdades parciais dos agentes de decisão. Pois boa parte da lógica inerente ao raciocínio humano não condiz com a lógica tradicional. Nesse contexto, a lógica *Fuzzy* tem uma inserção bem atuante na modelagem de avaliações para tomadas de decisão (ZADEH, 1965).

## 1.2 OBJETIVO

O objetivo geral deste trabalho é propor um modelo de MCDM utilizando a Técnica de Ordenamento por Preferência de Semelhança com a Solução Ideal (*Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution* - TOPSIS) juntamente com a teoria dos conjuntos *Fuzzy* para auxiliar as tomadas de decisão no gerenciamento da Manutenção. E os objetivos específicos visam identificar: quais práticas constituem uma boa gestão de manutenção; que fatores devem ser considerados ao avaliar o desempenho atual da manutenção de uma organização; e o que constitui os elementos de decisão quando se deseja melhorar um sistema de manutenção. Por fim, realizar estudos de caso para validação do modelo proposto.

## 1.3 MOTIVAÇÃO

Como dito por HAJSHIRMOHAMMADI & WEDLEY (2004), as decisões no âmbito do gerenciamento da manutenção podem ser caracterizadas como sendo descontínuas, complexas e não estruturadas. Principalmente diante dos múltiplos critérios e perspectivas a serem consideradas. Além disso, de acordo com LAMPE et al., 2004 e TAYLOR, 2008, muitos são os autores que destacam o tempo gasto buscando a informação certa para apoiar tomadas de decisões de manutenção como aproximadamente de 15 a 30% do tempo total do processo.

Os modelos de MCDM tem sido amplamente empregados no domínio da manutenção. Na literatura pesquisada observou-se que o uso dos mesmos tem se concentrado majoritariamente em tomadas de decisão no sentido de selecionar quais Políticas de Manutenção (Manutenção Corretiva, Manutenção Preventiva, Manutenção Preditiva, etc.), são adequadas para determinado tipo de equipamento ou processo (AL-NAJJAR & ALSYOUF, 2003; BEVILACQUA & BRAGLIA, 2000; PINTELON & GELDERS, 1992; SHYJITH et al., 2008; DING & KAMARUDDIN, 2015; BORJALILU e GHAMBARI, 2018). Nesse sentido a Quadro 1 apresenta um mapeamento de alguns métodos de decisão *Fuzzy* encontrados durante o levantamento bibliográfico apresentado, com ênfase para os trabalhos acadêmicos mais recentes.

Quadro 1– Métodos de MCDM

<b>Autores/ Ano</b>	<b>Contribuições</b>
Luukka (2011); Chen et al. (2006)	Uso do método <i>Fuzzy</i> TOPSIS para o problema de seleção de fornecedores em sistemas de cadeias de suprimentos.
Lima Junior (2013)	Uso e comparação das técnicas <i>Fuzzy</i> TOPSIS e <i>Fuzzy</i> AHP no apoio à tomada de decisão para seleção de fornecedores.
Ding & Kamaruddin (2015)	Estudo de caso do uso do TOPSIS para seleção de política de manutenção (Manutenção Autônoma, Manutenção Corretiva, Manutenção Preventiva, Manutenção Preditiva) para redução de falhas
Srivastava et. al (2017)	Uso dos métodos <i>Fuzzy</i> TOPSIS, <i>Fuzzy</i> AHP, Gráficos de linha e gráficos radares para a seleção da melhor estratégia de manutenção (Manutenção Corretiva, Manutenção Preventiva, Manutenção Preditiva, Manutenção Baseada na Condição, Manutenção Oportunista) para unidade geradora de vapor em uma usina termelétrica.
Mittal et al. (2016)	Uso da abordagem <i>Fuzzy</i> TOPSIS para seleção de problemas em indústrias de compensados na Índia.
Costa (2007)	Modelo de apoio à decisão para o aumento da confiabilidade no processo de manutenção dos filtros de celulose de uma Refinaria de Petróleo, utilizando a lógica <i>Fuzzy</i> para se determinar o melhor momento de intervenção da manutenção.
Borjalilu & Ghambari (2018)	Estudo de caso do uso do Método <i>Fuzzy</i> Analytical Network Process (FANP) para a seleção de estratégia ideal de manutenção. Dentre as opções: Manutenção Preventiva Baseada no Tempo, Manutenção Corretiva, Manutenção Baseada na Condição, Manutenção Centrada na Confiabilidade e Manutenção Preditiva
Alves & Sinay (2007)	O uso da lógica <i>Fuzzy</i> na avaliação de desempenho ambiental de sistemas de transportes públicos.
Krohling & Campanharo (2009).	Uso do método <i>Fuzzy</i> TOPSIS para a seleção da(s) melhor(es) estratégia(s) de combate ao derramamento de óleo no mar.
Al-Najjar & Alsyouf (2003)	Estudo de caso do uso de método <i>Fuzzy</i> MCDM para seleção da abordagem de manutenção mais eficiente, ou seja, aquela mais informativa. Dentre as opções: Manutenção Baseada na Falha, Manutenção Preventiva, Manutenção Baseada na Condição, entre outras.

Fonte: O Autor.

Diante do exposto no Quadro 1, percebe-se a existência de trabalhos que integram a metodologia Fuzzy TOPSIS para apoio a decisão no gerenciamento da manutenção. Entretanto,

com objetivos de selecionar estratégias e políticas de manutenção de uma forma generalizada. Sem, contudo, abordar a seleção de ações de melhoria de desempenho da manutenção, propriamente ditas. Levando em consideração por exemplo, as melhores práticas de gestão de manutenção. Portanto, a principal motivação do trabalho foi preencher essa lacuna. Desenvolvendo um modelo que priorize atividades de gestão de manutenção, com base em valores referenciais de classe mundial, a partir de critérios relacionados à produtividade, visando solucionar os problemas que mais impedem o alcance das metas da empresa, de uma forma sistêmica.

#### 1.4 BARREIRAS PARA O DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

Para aplicação e validação da metodologia apresentada neste trabalho, buscou-se parceria com algumas empresas do ramo industrial, dando ênfase, conforme acima, a gestão dos ativos de natureza elétrica. As empresas solicitadas foram: do setor sucroenergético (Alcoolquímica Nacional, Grupo JB); de distribuição de energia elétrica (Celpe); de geração e transmissão de energia elétrica (CHESF); algumas fábricas (BRF Brasil Foods, Grupo Moura e ABB); e ABRAGE (Associação Brasileira das Empresas Geradoras de Energia Elétrica). Entretanto, ao primeiro passo da pesquisa, que foi a distribuição do questionário desenvolvido, foi recebido negativa de participação pela maioria das organizações mencionadas.

O questionário desenvolvido contempla questões elaboradas pela autora da dissertação (Apêndice A), fundamentadas na revisão de literatura, e por uma complementação de questões propostas por MIRSHAWKA & OLMEDO (1993) (Anexo A), correspondendo a cerca de 50% do total. O questionário desenvolvido também incorpora questões que fazem parte de um projeto de pesquisa desenvolvido pelo Núcleo de Inovação Empreendedorismo e Sustentabilidade (NIES) do Centro de Ciências Sociais Aplicadas (CCSA) da UFPE, especificamente a seção ‘Caracterização da Empresa’ do Apêndice A. De um modo geral o questionário, em sua totalidade, visa obter um levantamento de dados sobre planejamento e gestão da manutenção de uma organização para aplicação da metodologia proposta nesta dissertação.

Embora tenha sido assegurado a todas as empresas tratamento estritamente confidencial e a não caracterização das mesmas no trabalho, através de documentos oficiais do Grupo de Sistemas Elétricos Mantidos (GSEM) da UFPE, algumas empresas alegaram uma política de não abertura de informações. Algumas apenas ignoraram a relevância da pesquisa e não entregaram o questionário respondido em tempo hábil, apesar do mesmo ter sido enviado com

aproximadamente um ano de antecedência à esta dissertação. Outras destacaram que não havia tempo disponível para designar colaboradores ao preenchimento das questões. E outras ainda chegaram a responder o questionário, mas de forma bastante incoerente, de modo a não ser possível conduzir a metodologia.

Deste modo, não foi possível aplicar exatamente a metodologia estabelecida, considerando o questionário originalmente desenvolvido, para um estudo de caso real. Contudo, esta barreira foi satisfatoriamente superada em razão de que na pesquisa bibliográfica realizada ter sido encontrada a referência ROSA (2006), que aplicou um questionário em três empresas, conforme detalhado no Capítulo 6. Esse questionário aplicado por ROSA (2006) foi o desenvolvido por MIRSHAWKA & OLMEDO (1993) (Anexo A) e, conforme dito acima, configura uma complementação ao questionário aqui elaborado (Apêndice A). Vale salientar que a aplicação do questionário por ROSA (2006) teve um tratamento de resultados diverso do aqui desenvolvido. Onde o autor propôs a utilização desse questionário apenas para classificar a manutenção dessas três empresas segundo os padrões de classe mundial, propostos por MIRSHAWKA & OLMEDO (1993).

Para o emprego do modelo desenvolvido, foram realizados, portanto, três estudos de caso, utilizando os resultados do questionário aplicado por ROSA (2006) em três empresas. Portanto, as recomendações propostas após o *ranking* de prioridades gerado pelo modelo, leva em consideração parte significativa do questionário originalmente elaborado, conforme acima.

## 1.5 ORGANIZAÇÃO ESTRUTURAL DA DISSERTAÇÃO

A dissertação está organizada nos seguintes capítulos:

- **Capítulo 2 – Fundamentação Teórica:** neste capítulo, são expostos a origem, os conceitos e os principais tipos de manutenção praticados nas instalações industriais. É apresentado uma revisão bibliográfica sobre a manutenção e sua relação com a produtividade de uma organização, abordando a política de Manutenção Produtiva Total (*Total Productivity Maintenance*- TPM) e a conceituação do que vem a ser a Manutenção de Classe Mundial (MCM).
- **Capítulo 3 – Melhores Práticas da Gestão da Manutenção Industrial:** neste capítulo é apresentado as principais práticas que estabelecem uma gestão de manutenção dotada de visão sistêmica, e envolvem em suas bases conceituais elementos da produtividade total, fundamentados na filosofia do TPM. Essas práticas compõe as seguintes áreas críticas da manutenção: Aspectos Organizacionais da Manutenção; Programas de

Treinamento; Ordens de serviço (OS); Planejamento e Programação da Manutenção; Manutenção Preventiva (MP); Compras e Estoques de Manutenção; Relatórios Gerenciais; e Automação na Manutenção.

- **Capítulo 4 – Análise Multicritério de Apoio a Decisão da Manutenção:** neste capítulo é descrito alguns fundamentos da teoria da decisão, bem como a utilização de Métodos MCDM na manutenção. Aqui também é mostrado como a lógica *Fuzzy*, ou também chamada de lógica difusa, tem sido bastante utilizada em combinação com os métodos de MCDM para o tratamento da incerteza. Também é elucidado os principais motivos para escolha da técnica TOPSIS para priorização das ações de gestão de manutenção, e a matemática que compõe o algoritmo *Fuzzy* TOPSIS estudado.
- **Capítulo 5 – Metodologia Proposta para o Apoio à Decisão no Gerenciamento da Manutenção:** neste capítulo, é explicado as etapas para a construção da metodologia *Fuzzy* TOPSIS, a fim de priorizar as atividades da manutenção a serem planejadas a partir de critérios pré-estabelecidos. Essa priorização é realizada no sentido de direcionar esforços para solucionar os problemas da manutenção em uma classificação decrescente de impacto nos objetivos da empresa. Também são apresentadas algumas ferramentas da Qualidade que podem auxiliar uma organização no desenvolvimento de soluções para esses problemas.
- **Capítulo 6 - Aplicação da Metodologia:** neste capítulo é apresentado os resultados das simulações realizadas no MATLAB do algoritmo *Fuzzy* TOPSIS desenvolvido. Para aplicação do algoritmo, foram utilizados os resultados de questionário aplicado a três empresas, previamente pesquisadas por uma das referências do trabalho. Essas empresas são aqui descritas, assim como a medição do desempenho das oito áreas críticas da manutenção, apresentadas no Capítulo 3, para cada uma delas. É feita também uma análise dos resultados da metodologia, apresentando recomendações para solucionar os cinco problemas da manutenção selecionados como mais prioritários pela metodologia.
- **Capítulo 7 – Conclusão:** é apresentado as conclusões obtidas com a aplicação da metodologia proposta, bem como a viabilidade de utilização da mesma pelas empresas. Assim como algumas sugestões e recomendações para trabalhos futuros, considerando as barreiras vivenciadas.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo apresenta aspectos teóricos sobre a Manutenção, tais como: definição, origens e evolução, bem como descreve as principais práticas de manutenção utilizadas nas organizações e que fatores são levados em consideração na escolha das mesmas. Dentre as práticas descritas, é dado ênfase ao TPM e sua relação com a MCM.

### 2.1 ORIGENS/EVOLUÇÃO DA MANUTENÇÃO

Em consonância com a Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, NBR- 5462 (1994), define-se manutenção como a “Combinação de todas as ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinada a manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desenvolver uma função requerida”. Segundo MONCHY (1989), o termo ‘manutenção’ tem origem no vocabulário militar, cujo sentido era “manter, nas unidades de combate, o efetivo e o material em um nível constante”.

De acordo com TAVARES (1999) a necessidade dos primeiros reparos surgiu no fim do século XIX, com a mecanização das indústrias. A manutenção até 1914 era tida como de importância secundária e era executada pelos mesmos empregados da operação. Apenas na época da Primeira Guerra Mundial, quando Ford instituiu a produção em série, as fábricas sentiram a necessidade da criação de equipes de manutenção. Nessa época, as máquinas tinham que ser reparadas no menor tempo possível, porque as fábricas estabeleciam programas mínimos de produção. Surgiu então o que se conhece hoje como Manutenção Corretiva.

Segundo NAKAJIMA (1988), o termo ‘manutenção’ consolida-se na indústria, nos Estados Unidos, apenas na década de cinquenta, surgindo a MP (1951), a Manutenção de Sistemas Produtivos (1954) e a Manutenção Corretiva com incorporação de Melhorias (1957). Já na década seguinte, 1960, ocorre a Introdução da Prevenção de Manutenção, a Engenharia de Confiabilidade e a Econômica, com a difusão de computadores, e a sofisticação dos instrumentos de proteção e medição. A partir daí a Engenharia de Manutenção passou a desenvolver parâmetros de predição ou previsão de falhas, buscando a otimização da atuação das equipes de execução de manutenção (TAVARES, 1999).

Até a década de setenta, a manutenção era baseada no tempo, quando a realização da manutenção baseava-se no planejamento e programação para prevenir eventuais falhas da máquina. A partir da década de oitenta, nasce o conceito de manutenção baseada nas condições, Manutenção Preditiva (MPRED), onde acompanha-se o estado das máquinas, o que possibilita

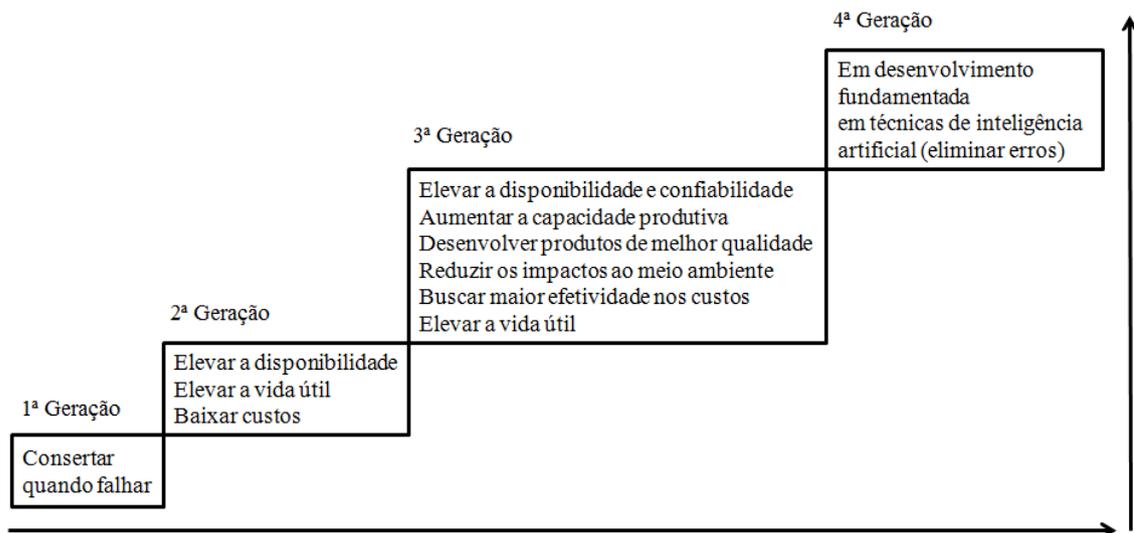
prever com antecedência uma falha potencial, ou seja, com grande probabilidade de ocorrer (NAKAJIMA,1988).

A Figura 1 apresenta a história da manutenção, que tem como base referencial, os países desenvolvidos (SANTOS, 2003), e apresenta quatro gerações distintas (MOUBRAY, 1997):

- A primeira geração, até aproximadamente o final da década de 50, expõe evidências no reparo após a falha;
- A segunda geração, que praticamente vai até meado dos anos setenta, está relacionada ao aparecimento da preocupação com a disponibilidade e vida útil dos equipamentos, considerando redução de custos;
- A terceira geração, que atinge os dias atuais, atende a expectativa de elevar a disponibilidade e confiabilidade de uma instalação, elevar a capacidade produtiva, desenvolver produtos de melhor qualidade, reduzir os impactos ao meio ambiente, elevar a vida útil e buscar a efetividade dos custos;
- E a manutenção de quarta geração, que possui ferramentas de inteligência artificial, tais como sistemas especialistas e redes neurais (SANTOS,2003).

Figura 1 – Evolução da Manutenção

## A EVOLUÇÃO DA MANUTENÇÃO



Fonte: Adaptado de Santos (2013)

## 2.2 PRÁTICAS DE MANUTENÇÃO

Nesta seção serão conceituadas as principais práticas de manutenção descritas acima, a saber: Manutenção Corretiva e MP, que se apresenta classificada como Sistemática, Assistemática (Preditiva) e Condicional. Será feita também uma breve descrição sobre os principais aspectos da Manutenção Inteligente. Em seguida, na seção 2.3, será descrita o que vem a ser o TPM.

### 2.2.1 Manutenção Corretiva

Esta é uma das ações de manutenção mais simples e primitiva. De acordo com SLACK et al. (2002), “significa deixar as instalações continuarem a operar até que quebrem. O trabalho de manutenção é realizado somente após a quebra do equipamento ter ocorrido [...]”. Ainda segundo a NBR 5462 (1994), trata-se da “manutenção efetuada após a ocorrência de uma pane destinada a recolocar um item em condições de executar uma função requerida”. Portanto, a manutenção corretiva envolve todas as ações de manutenção não planejadas e executadas após uma falha do sistema/produto.

Nesse contexto, por ter uma filosofia reativa, apesar de simples, apresenta custos elevados associados a: estoque de peças sobressalentes, trabalho extra, custo de ociosidade de máquina e baixa disponibilidade de produção. E os custos tendem a aumentar ainda mais caso o tempo de reação se prolongue, seja por falha da equipe de manutenção, seja por falta de peça de reposição (MOBLEY,2002).

Entretanto, segundo MONCHY (1989), existem circunstâncias que justificam a adoção do processo corretivo como método de manutenção, ou seja, se aplicado isoladamente, tais como:

- Quando os gastos indiretos de falha e os problemas de segurança são mínimos;
- Quando as eventuais falhas não são críticas para a produção;
- Quando a empresa adota uma política de renovação frequente do material.

MONCHY (1989) ainda ressalta que, independente da natureza e do nível de preventivas realizadas, sempre existirá uma parte de falhas residuais inevitáveis, que necessitarão de ações corretivas, correspondente a 5% das ações de manutenção. De tal forma que a manutenção corretiva se apresenta como um complemento à MP.

A manutenção corretiva ainda pode ser dividida em *manutenção paliativa e curativa*. Se o objetivo é restaurar o equipamento, antes do reparo definitivo, a manutenção é dita

paliativa. Caso a intenção seja retirar definitivamente a condição de falha, restaurando a função requerida do ativo, então trata-se da manutenção curativa (ROSA,2006).

### 2.2.2 Manutenção Preventiva

A ação de manutenção planejada ou preventiva tem como objetivo prevenir a falha do equipamento durante a operação. É uma intervenção planejada, proativa, uma vez que pretende atuar nas causas geradoras das falhas. Portanto, pode ser programada e ter a sua execução preparada, antes mesmo da caracterização do estado de falha. E pode-se apresentar normalmente nas seguintes formas: Manutenção Sistemática, Assistemática ou Preditiva e Condicional (ROSA, 2006 e MIRSHAWKA & OLMEDO (1993).

1) **Manutenção Sistemática:** estratégia de manutenção que pressupõe uma programação das intervenções de manutenções a realizar em um equipamento. O tempo entre intervenções geralmente é medido em dias de calendário, horas de funcionamento, ciclos de arranque ou ciclos de carga, desde que seja cíclico e indicador do estado do equipamento e consecutivamente da necessidade de manutenção (MOBLEY, 2002).

O problema desta estratégia é que é baseada no pressuposto de que todos os equipamentos têm um comportamento de tempo entre falhas próximo do tempo estimado, sem, no entanto, avaliar as variáveis específicas da planta que afetam diretamente a vida operacional normal da máquina. Por exemplo, o Tempo Médio Entre Falhas (TMEF) não será o mesmo para uma bomba que esteja trabalhando com água ou bombeando polpas abrasivas de minério (COSTA, 2013).

Essas generalizações, do parágrafo anterior, são as principais responsáveis pelos dois problemas mais comuns ao se adotar a MP: a) falhas graduais<sup>1</sup>, se a ação de manutenção for planejada tarde demais, comprometendo a eficácia da ação preventiva); b) realização de manutenções desnecessárias, que é quando adota-se um horizonte temporal conservador, sendo o reparo realizado muito antes do necessário, desperdiçando peças e trabalho (COSTA, 2013).

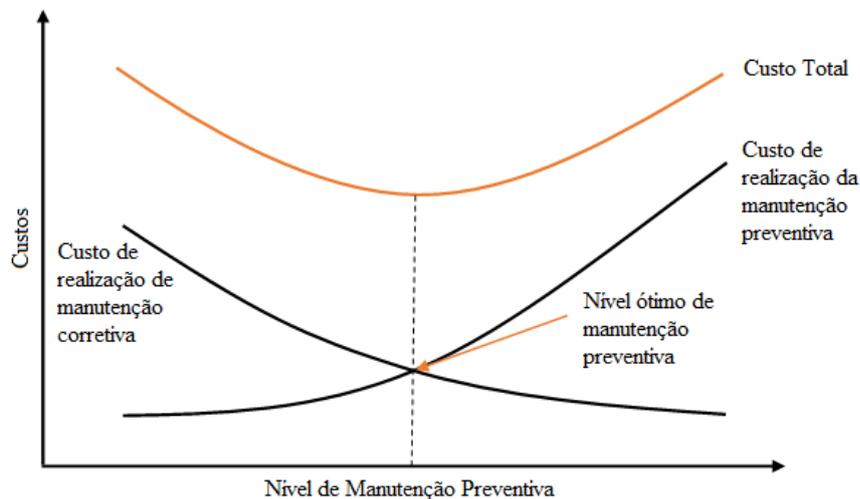
Sob um aspecto econômico, MONCHY (1989) evidencia, a partir do gráfico da Figura 2, a existência de um nível “ótimo” de MP a se executar, que varia para cada tipo de instalação ou equipamento. Ao analisar o gráfico é possível concluir que a MP pouco frequente é menos custosa, mas gera alta probabilidade de manutenção corretiva posterior (e, portanto, custos altos posteriores). Por outro lado, quanto mais frequente a MP, menores são as chances de ocorrência

---

<sup>1</sup> Falha devido a uma mudança gradual com o tempo de dadas características de um item. Uma falha gradual pode ser prevista por um exame anterior ou monitoração e pode, às vezes, ser evitada por ações de manutenção (NBR 5462)

das falhas. Mas, fazer preventivas em demasia, sem uma boa gestão, também é custoso. O ideal é buscar um equilíbrio entre MP e corretiva que proporcione um menor custo total de paradas.

Figura 2 – Custo *versus* Nível de MP



Fonte: Adaptado de MONCHY (1989)

MIRSHAWKA & OLMEDO (1993) recomendam os seguintes pontos básicos para o programa de MP Sistemática:

1. Estabelecer verificações de MP:

- Por equipamento;
- Por manutentor;
- Em operação (equipamento trabalhando);
- Com equipamento parado;

2. Executar programação da MP:

- Programação anual, mensal, semanal e diária;
- Frequência (horas de trabalho ou tempo de calendário);
- Coordenação com o usuário.

3. Gerar relatórios de MP:

- MP feita (tipos);
- Ordens de trabalhos de manutenção executados;
- Desempenho da MP, resultados conseguidos;
- Tempo de interrupção do uso do equipamento.

2) **Manutenção Assistemática ou Preditiva:** ação de manutenção onde se procura realizar o acompanhamento de variáveis e parâmetros de desempenho de máquinas e equipamentos,

visando definir o instante ótimo da intervenção, com o máximo de aproveitamento do ativo (OTANI & MACHADO, 2008). Dados como vibração, temperatura, som, cor e assim por diante geralmente são coletados *off-line* e analisados quanto a tendências (BLANCHARD 1992 e LYONNET, 1991). Algumas das principais vantagens da adoção dessa estratégia, citadas por ROSA (2006) e MONCHY (1989), são:

- Maior disponibilidade da máquina pelo maior tempo de operação, pois possibilita a adequação das paradas da máquina à programação da produção, poupando perdas provenientes das paralisações inesperadas;
- Maior disponibilidade da máquina pelo menor tempo de manutenção, já que permite a parada de máquina antes da ocorrência de maiores danos, que requeiram um tempo de reparo mais elevado;
- Detecção de diminuição do desempenho do item;
- Planejamento para reduzir o efeito das paradas de produção sobre os clientes do produto ou do serviço, permitindo melhor qualidade dos mesmos;
- Diminuição das ações corretivas residuais e redução de estoques, haja vista que esse tipo de ação de manutenção permite um retardado do suprimento dos itens.

### **Principais técnicas de monitoração**

Das ferramentas de análise de monitoração que suportam a MPRED, as principais são apresentadas a seguir MOBLEY (2002):

#### **a) Análise de vibração**

A análise de vibrações é bastante utilizada em ambientes industriais, principalmente no que toca o acompanhamento de sistemas dinâmicos (SANTOS,2015). Nas técnicas mais simples, as características vibratórias medidas em vários pontos do equipamento são comparadas com os valores correspondentes ao equipamento no seu estado novo e os desvios, a partir de certo nível, indicam a existência de irregularidades. Enquanto que outras tecnologias, mais modernas, já são capazes de detectar o componente responsável por determinada anomalia no equipamento (CABRAL, 2004).

Segundo KARDEC E NASCIF (2017), o maior destaque do acompanhamento de vibração está nos equipamentos rotativos e os parâmetros de vibração para esses tipos de equipamentos usualmente são expressos em função de deslocamento, velocidade e aceleração. Essas três grandezas representam “o quanto” o equipamento está vibrando. A frequência é outra variável importante que ajuda a identificar “o que” está causando a vibração.

### **b) Análise de temperatura**

Existem vários métodos para a monitoração de temperatura. Um dos mais utilizados é a Termografia. Neste método, é possível localizar e identificar problemas ou alterações na condição de equipamentos, componentes e do próprio processo, através da medição de radiação infravermelha (calor) emitida pelos mesmos. É possível correlacionar esta emissão de radiação com a temperatura da superfície observada e assim perceber a condição do objeto ou equipamento. Logo, através da identificação de anomalias térmicas, como pontos quentes ou anormalmente frios, são identificadas falhas potenciais (que ainda não tenham ocorrido). Alguns exemplos clássicos onde o acompanhamento de temperatura é primordial estão listados abaixo (KARDEC & NASCIF, 2017):

- Temperatura de mancais em máquinas rotativas;
- Temperatura da superfície de equipamentos estacionários;
- Temperatura da superfície de equipamentos elétricos.

### **c) Análise de Óleos**

A análise das propriedades químicas de óleos de lubrificação permite conhecer o estado do óleo, com o intuito de apontar a necessidade de substituição do mesmo. Já a análise do tamanho, forma, composição e quantidade das partículas sólidas existentes em suspensão no óleo indica o estado da máquina (SANTOS, 2015).

Entre as limitações existentes nesta técnica, SANTOS (2015) destaca o custo de aplicação, a qualidade da amostra e a interpretação da informação. Entretanto, o autor enfatiza que para máquinas como caixas redutoras, motores de combustão interna, ou outros mecanismos com diversos componentes moveis de difícil acesso para uma análise de vibração ou termografia, verifica-se como uma boa técnica de controle de condição.

Para equipamentos isolados e refrigerados a óleo, a análise dos gases dissolvidos é considerada por ARSHAD et al. (2004) como ferramentas confiáveis para diagnóstico das condições de um equipamento. Os métodos de análise dos gases dissolvidos no óleo isolante permitem detectar falhas em estágio inicial (falhas incipientes) e a adoção de ações que evitem a ocorrência de maiores danos (ARSHAD et al., 2004)

### **d) Inspeção Visual**

A inspeção visual foi uma das primeiras técnicas de manutenção condicionada a ser utilizada. Desde os primórdios da revolução industrial, que os técnicos de manutenção faziam

uma ronda diária para identificar visualmente falhas potenciais nos equipamentos (MOBLEY, 2002). Atualmente a inspeção visual ainda pode ser um bom indicador da condição de um equipamento.

É considerada inspeção visual qualquer verificação realizada na máquina, seja utilizando instrumentos como indicadores de temperatura, pressão, nível e outros, como através dos cinco sentidos humanos do operador e/ou mantenedor: visão, audição, tato e olfato (SANTOS,2015).

### **3) Manutenção Baseada na Condição:**

Essa abordagem, baseada na condição, busca atenuar a probabilidade da falha, utilizando técnicas preditivas realizadas, em geral, com o equipamento em serviço. Portanto, monitora de forma permanente a queda de desempenho e, conseqüentemente a elevação da probabilidade de falha, decorrentes da exploração do ativo.

Segundo RIIS et al. (1997) com o surgimento dos Controladores Lógicos Programáveis (CLP) em sistemas de produção, os parâmetros de equipamentos e processos podem ser monitorados continuamente. Os CLPs são conectados diretamente a um computador *on-line* para monitorar a condição do equipamento em tempo real. Qualquer desvio da faixa normal padrão de tolerâncias fará com que um alarme (ou uma ordem de reparo) seja gerado automaticamente. Os custos de instalação para tal sistema de manutenção podem ser altos, mas os níveis de serviço do equipamento podem ser significativamente melhorados.

Portanto, deve-se levar em consideração alguns pré-requisitos para adoção desse tipo de estratégia de manutenção. MONCHY (1989) propõe as seguintes condições: a) verificação de o quanto o item é crítico e b) se o mesmo apresenta uma degradação progressiva e detectável, uma vez que é necessário encontrar-se uma correlação entre um parâmetro mensurável e o estado do sistema.

### **2.2.3 Manutenção Inteligente**

A manutenção inteligente, ou automanutenção, é um nível mais avançado da manutenção baseada na condição e envolve o diagnóstico automático de sistemas eletrônicos e unidades modulares de reposição. Os dados de sensores de instalações ou máquinas remotas são fornecidos continuamente a uma estação de trabalho centralizada. A partir desta estação de trabalho, o especialista em manutenção pode receber suporte inteligente de sistemas especialistas e redes neurais para tarefas de tomada de decisão. Os comandos são então liberados para os locais remotos para iniciar uma rotina de manutenção que pode envolver o

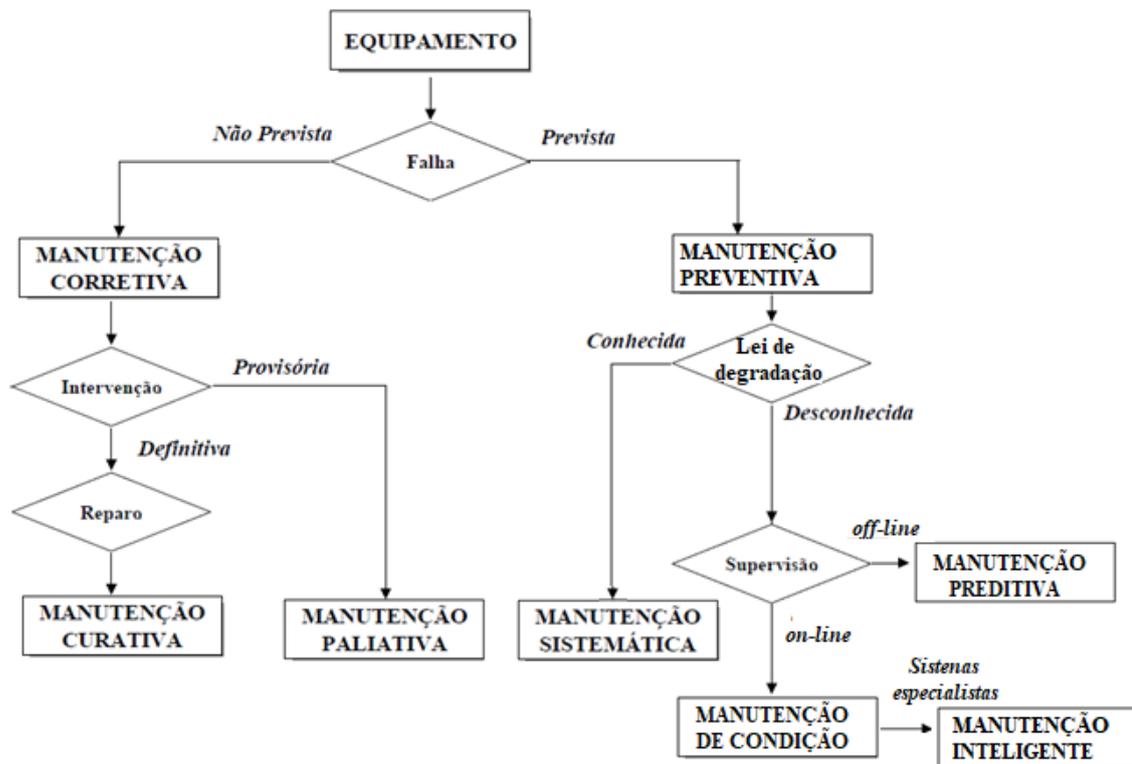
ajuste de valores de parâmetros de alarme, o início de diagnósticos de testes integrados ou a ativação de *standby* ou subsistemas, por exemplo. Em alguns casos, a robótica pode ser usada para substituições modulares remotas (RIIS et al, 1997).

Frequentemente, as razões para o uso de sistemas especialistas em manutenção são a crescente complexidade dos equipamentos, a natureza interdisciplinar dos problemas de manutenção modernos, a perda de experiência em manutenção de uma organização devido a aposentadorias, o tempo reduzido de treinamento para técnicos iniciantes (RIIS et al, 1997).

#### 2.2.4 Seleção das Práticas de Manutenção

Em qualquer instalação sempre haverá espaço para as diversas práticas de manutenção mencionadas nas seções acima. A escolha entre os diferentes métodos de manutenção faz parte da “política” de manutenção e é decidida a nível da direção da organização (MONCHY,1989). A Figura 3 apresenta um fluxograma possível para a escolha das práticas de manutenção.

Figura 3 – Fluxograma para a Escolha da Prática de Manutenção



Fonte: Adaptado de MONCHY (1989), ROSA, (2006) e RIIS et al. (1997)

SLACK et al. (1999) argumentam que cada prática de manutenção é adequada para diferentes situações, como está exibido na Figura 4. A política de manutenção não planejada, mais especificamente a manutenção corretiva, é usada normalmente em três circunstâncias:

- 1) Quando o reparo é fácil, logo a consequência da falha é pequena;
- 2) Quando a MP é muito dispendiosa; e
- 3) Quando a falha não é previsível de nenhuma forma; logo, não há vantagem em se utilizar a MP, porque a falha apresenta a mesma probabilidade de acontecer antes ou depois do reparo.

A manutenção planejada ou preventiva tem sua utilização indicada nos casos em que o custo da falha é alto, devido, por exemplo, às paralisações da produção. E quando a falha não é totalmente aleatória, de modo que o momento da intervenção pode ser programado antes que a falha se torne muito provável.

A MPRED ou de condição é usada quando o custo da falha tem um valor significativamente alto, incluindo-se aí os custos da atividade de manutenção para restaurar a função do ativo mais o custo da não produção, decorrente de sua indisponibilidade. É a estratégia geralmente usada nos ativos que ocupam uma posição crítica no processo produtivo.

Figura 4 – Utilização das Práticas de Manutenção.



Fonte: Adaptado de SLACK et al. (1999)

## 2.3 MANUTENÇÃO E SUA RELAÇÃO COM A PRODUTIVIDADE TOTAL

A seguir, é apresentado um detalhamento teórico quanto as diretrizes inerentes às políticas de TPM e MCM, relacionando-as com a produtividade de uma organização.

### 2.3.1 *Total Productivity Maintenance* (TPM)

O TPM **surgiu** no Japão, por volta de 1971 e trata-se de um método de administração do sistema produtivo que focaliza valores como a efetiva relação entre funcionários e deles com os equipamentos e suas funções (SANTOS, 2009). “O TPM surgiu e se desenvolveu inicialmente na indústria de automóvel e rapidamente passou a formar parte da cultura corporativa de empresas tais como Toyota, Nissan, e Mazda, e seus fornecedores e filiais. Foi introduzido posteriormente em outras indústrias como eletrodomésticos, microeletrônicas, máquinas, ferramentas, plásticos, fotografia, etc.” (SUZUKI, 1994).

MIRSHAWKA & OLMEDO (1994) **definem** o TPM como: “um programa de manutenção que envolve o conjunto de todos os empregados da organização, desde a alta administração até os trabalhadores da linha de produção.” **Abrange todos os departamentos**, inclusive: manutenção; operação; transportes e outras facilidades; engenharia de projetos; engenharia de planejamento; engenharia de construção; estoques e armazenagem; compras; finanças e contabilidade; gerência da instalação (segurança).

Em conformidade com a Associação Japonesa de Manutenção (*Japan Institute of Plant Maintenance – JIPM*), o TPM **incorpora as seguintes estratégias** (NAKAJIMA, 1988):

- Desenvolver uma organização corporativa que busque a maximização do sistema de produção;
- Eliminar todos os tipos e fontes de perdas;
- Envolver todos os segmentos e funcionários de uma organização, desde o maior nível hierárquico até o mais baixo;
- Estabelecer um programa de MP que busque a maximização do uso pelo ciclo total de vida útil dos equipamentos;
- Incentivar o princípio de trabalho em equipe para consolidar ações de melhoria contínua, por meio da motivação gerencial.

Segundo SANTOS (2003), para alcançar a melhoria das pessoas, dos equipamentos e da estrutura orgânica da empresa, a organização deve almejar o desenvolvimento das pessoas e atualização tecnológica das instalações, considerando as seguintes diretrizes principais:

- Capacitação dos operadores para executar as atividades de manutenção de forma espontânea, considerando indicadores de eficiência econômica;
- Capacitação dos colaboradores para executar atividades de manutenção com tecnologia moderna e atualizada;
- Capacitação de equipe de planejamento, projeto e de desenvolvimento de equipamentos e/ou sistemas que incorporem o paradigma de falha zero.

Segundo TAKAHASHI & OSADA (1993), a atividade de manutenção produtiva com **participação de todos os funcionários** da empresa está entre os métodos mais eficazes para transformar uma fábrica em uma operação com gerenciamento orientado para o equipamento, coerente com as mudanças da sociedade contemporânea. A primeira exigência para essa transformação é que todos, principalmente a alta gerência, voltem sua atenção a todos os componentes da fábrica.

Nesse contexto, MALETIČ et al. (2012) desenvolveram um estudo empírico para examinar a relação entre a melhoria contínua<sup>2</sup> de uma organização e o desempenho da manutenção. Para o estudo, os autores utilizaram vários métodos estatísticos, tais como análise de correlação, análise de regressão e análise de componentes principais e dados empíricos coletados de uma pesquisa *survey*<sup>3</sup> enviada a 53 organizações Eslovenas de vários setores. Os resultados desse estudo comprovaram o que é discutido na literatura sobre a correlação existente entre o papel do trabalho em equipe e participação de todos os funcionários, como defende o TPM, e a alta disponibilidade, qualidade e eficiência de produção. Além disso, o estudo também evidencia, de acordo com os resultados de análise de correlação, a importância do comprometimento da gerência com a melhoria contínua. Sendo esse mais um dos fatores-chaves da implementação do TPM, como descrito anteriormente.

### 2.3.1.1 Histórico do TPM

O TPM na década de 70, quando suas atividades eram realizadas somente nos departamentos de produção e a tática principal era maximizar a eficiência dos equipamentos

---

<sup>2</sup> Melhoria Contínua constitui um conjunto particular de rotinas que visam ajudar uma organização a melhorar seu desempenho, buscando atender, medir requisitos de clientes (internos ou externos) e encontrar áreas nas quais melhorias possam ser feitas (CHANG, 2005)

<sup>3</sup> O método de pesquisa Survey visa a obtenção de dados ou informações sobre características, ações ou opiniões de determinado grupo de pessoas, indicado como representante de uma população-alvo, por meio de um instrumento de pesquisa, normalmente um questionário (FREITAS et al., 2000).

com o objetivo de eliminar perdas por falhas, passou a ser chamado pela JIPM como TPM de **primeira geração** (IMAI, 2000).

Na década de 80, sendo chamado pela JIPM de TPM de **segunda geração**, ainda mantendo a estratégia de maximizar a eficiência dos equipamentos, a principal estratégia do TPM evoluiu para eliminação das seis perdas principais nos equipamentos, que são (NAKAJIMA, 1988):

- Falhas dos equipamentos;
- Preparação e ajustes;
- Tempo em vazio e paradas curtas;
- Velocidade reduzida;
- Defeitos em processos e repetição de trabalhos; e
- Menor rendimento entre a inicialização das máquinas e a produção estável.

O TPM de **terceira geração**, que foi apresentada pela JIPM em 1989 e permaneceu por toda década de 90, tinha como foco não mais os equipamentos e sim em no sistema produtivo. Tendo como principal objetivo eliminar as dezesseis grandes perdas principais, assim classificadas (IMAI, 2000): oito perdas nos equipamentos (perda por falha em equipamento; perdas por instalações e ajustes; perda por mudança de gabarito e lâmina de corte; perda por inicialização; perda por paradas menores e inatividade; perda de velocidade; perda por defeitos e retrabalho; e perda por tempo ocioso), cinco perdas por fatores humanos (perda causada pela administração; perda de mobilidade operacional; perda de organização de linha; perda de logística e perda por medições e ajustes) e três perdas de recursos de produção (perda ocasionada por ferramentas e gabaritos, perda por falha de energia e perda de tecnologia).

A partir de 1999, a JIPM trabalha com o TPM de **quarta geração** que deve ser implementado em toda a organização, envolvendo as funções da sede da empresa, setores comercial, de pesquisa e desenvolvimento, etc. O TPM de quarta geração atua na estratégia de gerenciamento, com foco no sistema geral da companhia, e com o objetivo principal de eliminar as 20 grandes perdas principais que envolvem, além das 16 perdas da terceira geração, as perdas encontradas nos processos, inventários, distribuição e compras. A Tabela 1 ilustra o processo evolutivo do TPM.

Tabela 1– Evolução do TPM

	<b>1ª Geração 1970</b>	<b>2ª Geração 1980</b>	<b>3ª Geração 1990</b>	<b>2ª Geração 2000</b>
<b>Estratégia</b>	Máxima eficiência dos equipamentos		Produção e TPM	Gestão e TPM
<b>Foco</b>	Equipamento		Sistema de produção	Sistema geral da companhia
<b>Perdas</b>	Perdas por falhas	Seis principais perdas dos equipamentos	Dezesseis perdas (equipamentos, fatores humanos e recursos na produção)	Vinte perdas (processos, inventário, distribuição e compras)

Fonte: Adaptado de IMAI, 2000

### 2.3.1.2 Os Pilares do TPM:

Cada organização possui suas características individuais, porém, os pilares de sustentação são princípios que, quando respeitados, possibilitam o funcionamento pleno desta filosofia nos diversos ambientes. Antes de apresentar como implementar esta filosofia, é necessário que se conheça os pilares em que está fundamentada. Abaixo estão descritos os oito pilares de acordo com NAKAJIMA (1988) e SANTOS (2009):

1) **Pilar da Melhoria Focada ou Específica**: atua com o foco no equipamento ou sistema no sentido de intensificar ações que eliminem os problemas específicos do item e que tem produzido reduções na produtividade total do mesmo. Nesse pilar, deve-se implementar melhorias solucionando primeiramente os problemas básicos e continuar gradativamente até atingir níveis mais sofisticados, sempre consolidando o realizado.

Aqui deve construir uma árvore de perdas para identificar, mensurar e ordenar as principais perdas. Através da árvore de perdas revisada, deverá ser estabelecido para cada perda identificada uma meta de redução. Para cada perda, deve-se designar uma equipe interfuncional com o objetivo de identificar e bloquear as causas fundamentais da mesma. No TPM, os pequenos grupos fixam suas próprias metas baseando-se nas metas do conjunto da companhia” (NAKAJIMA, 1988).

2) **Pilar da Manutenção Autônoma ou Gestão Autônoma:** Refere-se aos treinamentos teóricos e práticos que darão aos operadores a capacidade de exercerem proativamente as atividades referentes à manutenção e incrementando melhorias.

Atua com foco no homem de operação, mudando sua visão sobre o trabalho, capacitando-o e habilitando-o para uma administração autônoma. Isso significa que o homem de operação deve ter o domínio sobre os equipamentos, conseguindo prever sinais de defeitos e falhas e ser capaz de tomar providências para evitar que esses fatores incipientes se desenvolvam e se transformem em problemas graves. Os principais passos da implantação desse pilar é:

- a. Limpeza Inicial: os colaboradores usam os cinco sentidos para descobrir folgas, vibrações, desgastes, desalinhamentos, desvios, ruídos estranhos, aquecimentos e vazamentos de óleo (SHIROSE, 1994).
- b. Eliminar fontes de contaminação e áreas de difícil acesso: é importante que as contaminações sejam eliminadas na fonte. Devem ser eliminadas também neste passo, as áreas de difícil acesso que tornem impossível ou que façam com que o operador perca muito tempo para realizar a limpeza ou inspeção no equipamento (SHIROSE, 1994).
- c. Criar padrões provisórios de limpeza e lubrificação: neste passo, os membros do grupo usam suas experiências adquiridas nos primeiros passos para determinar as condições ótimas de limpeza e lubrificação do equipamento e esboçam provisoriamente as tarefas padrões para a sua manutenção. Os padrões especificam o que se deve fazer, onde, a razão, procedimentos, quando e tempos empregados (SHIROSE, 1994).
- d. Treinamentos e inspeção geral: os operadores devem receber todo o treinamento necessário para que possam desempenhar adequadamente suas atribuições, adquirindo conhecimentos mais profundos sobre os equipamentos e seus componentes. Assim como devem adquirir também instruções básicas sobre lubrificação, pneumática, hidráulica, eletricidade, etc (SHIROSE, 1994).
- e. Inspeção autônoma: neste passo deve ser posto em prática os padrões provisórios do passo 3 com os pontos adicionais a serem inspecionados definidos no passo 4. Devem ser revisados todos os elementos a inspecionar para assegurar que o trabalho possa ser feito realmente dentro de limites de tempo razoáveis (SHIROSE, 1994).
- f. Gestão e controle do lugar de trabalho: neste ponto, as equipes devem eliminar todos os elementos e peças desnecessárias das áreas de trabalho e organizar o material remanescente (SHIROSE, 1994).

- g. Gestão autônoma plena: neste passo devem ser desenvolvidas atividades voltadas à melhoria contínua dos equipamentos. Os grupos ou equipes de operação em cooperação com o pessoal de manutenção continuam refinando os processos de inspeção e gerando melhoras que aumentam a vida e eficácia dos equipamentos (SHIROSE, 1994).

**3) Pilar da Manutenção Planejada:** refere-se às rotinas de MP baseadas no tempo ou na condição do equipamento, visando a melhoria contínua da disponibilidade e confiabilidade além da redução dos custos de manutenção.

Já que com a implantação da Manutenção Autônoma todas as atividades mais simples de inspeção e manutenção passam a ser de responsabilidade da equipe de operação da planta, para a equipe de manutenção, através da Manutenção Planejada, fica a responsabilidade pelo desenvolvimento de tarefas de manutenção mais complexas, que exijam conhecimentos mais profundos. A implantação da Manutenção Planejada deve ser realizada através dos seis seguintes passos:

- a. Avaliação dos equipamentos e levantamento da situação atual: Como não é possível desenvolver as atividades de Manutenção Planejada simultaneamente em todos os equipamentos da planta, há necessidade de se definir prioridades baseado em questões de segurança, qualidade, etc. Os equipamentos podem então ser classificados em tipo A (prioritários), tipo B (prioridade média) e tipo C (não prioritários). “Para captar a situação atual do ponto de partida, se reúnem dados do número de falhas, frequências, severidades, TMEF, TMR (tempos médios de reparação), custos de manutenção, etc. Então se estabelecem objetivos para reduzir as falhas através da Manutenção Planejada” (SUZUKI, 1994).
- b. Restauração das deteriorações e melhorias dos pontos deficientes: Considerando que com o uso e com o passar do tempo os equipamentos sofrem deteriorações e perdem muitas das vezes a produtividade que possuíam quando novos, torna-se necessário restaurar todas as deteriorações e melhorar os pontos deficientes dos equipamentos da planta (SUZUKI, 1994).
- c. Criar um sistema de gestão de informações e dados: Devido a enorme variedade de equipamentos em diferentes regimes de manutenção e considerando a dificuldade em se gerir manualmente uma quantidade muito grande de informações, deve-se montar um sistema informatizado de gestão da manutenção e dos dados inerentes aos equipamentos (SUZUKI, 1994).
- d. Criar um sistema de manutenção periódica: Neste passo, deve-se criar todo um planejamento de manutenção periódica nos equipamentos, ou seja, manutenções baseadas

- no tempo de operação ou número de operações de cada equipamento, periodicidade está baseada na experiência das equipes de manutenção e operação da planta (SUZUKI, 1994).
- e. Criar um sistema de MPRED: Para pôr em prática a MPRED ou baseada em condições, deve ser possível medir as características que indicam fielmente a deterioração (SUZUKI, 1994).
  - f. Avaliar o sistema de manutenção planejada: A equipe deve reunir-se para discutir as técnicas de manutenção e de diagnósticos utilizadas, deve-se avaliar os resultados obtidos e, por conseguinte, avaliar o sistema de manutenção planejada introduzindo mudanças, se for o caso (SUZUKI, 1994).

**4) Pilar do Treinamento e Educação:** refere-se à aplicação de treinamentos técnicos e comportamentais para liderança, a flexibilidade e a autonomia das equipes. Atua no sentido de controlar, acompanhar e melhorar as habilidades dos colaboradores, estabelecendo condições para o aumento de produtividade da organização. Cabe ressaltar, que na filosofia do TPM, prima-se preferencialmente pelo treinamento realizado no próprio ambiente de trabalho (*on the job training*), onde o trabalhador que detém o conhecimento repassa-o aos demais (NAKAJIMA, 1988).

**5) Pilar da Gestão Antecipada:** refere-se à prevenção da manutenção. Esse pilar propõe o desenvolvimento de projetos de novos equipamentos que levem em consideração facilidades na operação e manutenção. Analisando, por exemplo, o histórico de dados de análise de falhas de equipamentos semelhantes, ou ainda, a experiência dos funcionários que vão operar e reparar tais equipamentos.

**6) Pilar da Manutenção da Qualidade:** refere-se à interação da confiabilidade dos equipamentos com a qualidade dos produtos e capacidade de atendimento à demanda.

**7) Pilar da Melhoria dos Processos Administrativos:** Os processos de gestão interferem diretamente na eficiência e produtividade das atividades operacionais. Fazer com que esses processos se aprimorem e reduzam seus desperdícios é objetivo deste pilar, conhecido como TPM de escritório.

**8) Pilar da Segurança, Saúde e Meio Ambiente:** Este se sustenta a partir das práticas dos outros pilares. Seu foco é na melhoria contínua das condições de trabalho da redução dos riscos de segurança e ambientais. Atua no sentido de reduzir a zero os acidentes, bem como estabelecer uma consciência na busca por ações que eliminem todas as condições inseguras de trabalho. E de reduzir ao máximo os impactos ambientais resultantes do processo produtivo da empresa.

### 2.3.1.3 Etapas de Implantação do TPM

A implantação do TPM é realizada normalmente em 12 etapas distribuídas em quatro fases distintas: Preparação, Introdução, Implantação e Consolidação, conforme mostrado de forma detalhada na Tabela 2 (NAKAJIMA, 1988):

Tabela 2 – Etapas de Implantação do TPM

	<b>Etapas</b>	<b>Conteúdo</b>
<b>Preparação</b>	1 - Declaração oficial da decisão pela diretoria de implementação de TPM	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Uso de todos os meios de comunicação disponíveis</li> </ul>
	2 - Educação, treinamento e divulgação do início da implementação	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Seminários para gerência média/alta</li> <li>• Vídeos para operadores</li> </ul>
	3 - Estruturação das equipes de multiplicação e implementação	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificação das lideranças e montagem dos comitês</li> </ul>
	4 - Estabelecimento da política básica e metas do TPM	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificação das grandes perdas e definição dos índices relativos ao PQCDM</li> </ul>
	5 - Elaboração do plano diretor para implementação do TPM	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Detalhamento do plano</li> </ul>
<b>Introdução</b>	6 - Lançamento do projeto empresarial TPM	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Convite a fornecedores, clientes e empresas afiliadas</li> </ul>
<b>Implantação</b>	7- Sistematização para melhoria do rendimento operacional	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Incorporação das melhorias específicas</li> <li>• Condução da MP e autônoma</li> <li>• Educação e treinamento em cascata de todos os envolvidos com a implantação e com o foco na autonomia da equipe</li> </ul>
	8 - Gestão antecipada	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Prevenção da manutenção com o controle da fase inicial dos equipamentos se o custo do ciclo de vida</li> <li>• Prevenir perdas crônicas</li> </ul>
	9 - Manutenção da qualidade	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Foco nas falhas frequentes e ocultas e nos processos que afetam a qualidade do produto e das entregas</li> </ul>
	10 - Melhoria dos processos administrativos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• TPM de escritório, revisão das rotinas administrativas com base na filosofia do TPM de eliminação de perdas</li> </ul>
	11 - Segurança, saúde e meio ambiente	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ações e recuperação e prevenção de riscos a saúde e segurança dos operários e do meio ambiente</li> </ul>

<b>Consolidação</b>	12 - Aplicação total do TPM	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Obtenção de resultados que demonstrem o alcance e a manutenção da excelência em TPM</li> <li>• Candidatura ao prêmio de excelência do JIPM</li> </ul>
---------------------	-----------------------------	--

Fonte: Adaptado de NAKAJIMA (1988)

No primeiro passo, segundo NAKAJIMA (1988), a alta direção deve formalizar seu compromisso com o programa e divulgá-lo para todos na empresa, através de reuniões, de informativos e jornais internos. Caso a alta direção não esteja comprometida com o TPM não se deve seguir em frente. Pois, se para atacar o problema, a alta administração não assume a liderança, a transformação necessária para a mudança das atitudes, equipamentos e ambiente corporativo, não acontecerá” (NAKAJIMA, 1991).

O segundo passo, de acordo com PALMEIRA (2002), deve haver o planejamento e a execução dos treinamentos, *endomarketing* e a sensibilização dos trabalhadores, através de visitas, palestras, etc. Os treinamentos devem ser específicos para a alta, média gerência e demais colaboradores. Nesta etapa deve ser prevista uma auditoria interna para comprovar a efetividade das ações de educação, treinamento e divulgação, quando então, a terceira etapa poderá ser iniciada.

O terceiro passo da implantação consiste, segundo SUZUKI (1994), na formação de pequenos grupos dentro da organização com o objetivo de cascatear as diretrizes e as políticas da alta direção por toda empresa. Neste sistema, os líderes de pequenos grupos de cada nível da organização são membros de pequenos grupos do nível seguinte mais elevado. Deverá também ser formada uma secretaria para o programa que dará apoio dos grupos supracitados, preparar o plano mestre da TPM e coordenar sua execução, organizar publicidade e preparar seminários sobre o tema.

Segundo NAKAJIMA (1988), a quarta etapa é o estabelecimento das diretrizes básicas e a definição das metas a serem obtidas. Os objetivos devem ser concretos, numéricos com a maior precisão possível, e com significados claros para “O que? ”, “Quando? ” e “Como?”. Os diversos setores ou grupos da empresa devem analisar as variáveis que mais contribuem para seus resultados. Como o grande objetivo do TPM é a eliminação total das perdas, para que se consiga a clareza e a precisão necessárias ao estabelecimento das metas, é importante que, todas as perdas existentes sejam identificadas, mensuradas e valoradas financeiramente. O Comitê Coordenador, então, estabelece para cada perda uma meta financeira de redução, cujo somatório

de todas as oportunidades de redução de perdas constituirá a meta geral de redução de perdas da empresa.

Após a identificação, mensuração e valoração monetária das perdas, com a conseqüente elaboração da árvore de perdas, pode-se então, elaborar o Plano Mestre que consiste no planejamento das fases de implantação e consolidação (etapas 7 a 12). Este plano deve ser revisto periodicamente com o objetivo de não o deixar defasar e evitar impasses (NAKAJIMA, 1988).

Após o Plano Mestre estar elaborado e aprovado, pode-se considerar a fase de Preparação concluída e lançar o Projeto Empresarial TPM. Muitas empresas tornam esse momento solene e convidam fornecedores e empresas parceiras para participarem, apresentando a todos os envolvidos (incluindo também todos os empregados, clientes e terceirizados) os resultados obtidos nas cinco primeiras etapas, convencendo a todos da seriedade que o programa deve ter. Nesse momento, a alta administração da empresa deve demonstrar o seu comprometimento com a implantação do TPM, apresentando os resultados esperados com o programa, tanto com relação aos aspectos produtivos quanto do impacto do TPM na força de trabalho (NAKAJIMA, 1988).

E, na sétima etapa, tem-se a implantação de quatro dos oito pilares da TPM, Melhoria Específica, Manutenção Autônoma, Manutenção Planejada e Educação e Treinamento, seguindo as recomendações definidas nos Pilares. Persegue-se como resultado a redução do custo e melhoria da qualidade (NAKAJIMA, 1988).

De acordo com SUZUKI (1994), o oitavo passo tem por finalidade utilizar todo o aprendizado obtido na Manutenção Autônoma, Manutenção Planejada e Melhorias Específicas no desenvolvimento de produtos que sejam de fácil fabricação ou de equipamentos de fácil utilização. Segundo NAKAJIMA (1991), a gestão do equipamento pode dividir-se aproximadamente em engenharia de projeto e engenharia de manutenção. Prevenção da Manutenção é um aspecto significativo da engenharia de projeto que serve como interface entre engenharia de manutenção e projeto.

O nono passo é ter um controle nos componentes que afetam a qualidade do produto, verificar as influências principais do processo como inputs, equipamentos, materiais, ações das pessoas e métodos com a qualidade dos produtos (SUZUKI, 1994).

Segundo SUZUKI (1994), no décimo passo, as áreas administrativas e de apoio tem papel importante na condução das atividades e decisões da área operacional, fazê-las eficiente. Conhecimentos que são passados, ordens e orientações devem vir em momento oportuno e de

qualidade. O TPM nessas áreas visa regularizar o fluxo de trabalho, receber dados, processá-los e distribuir informações. Além de buscar eliminar todas as perdas nos processos administrativos, principalmente àquelas que impactam nos ativos da empresa, como: áreas e prédios desnecessários, estoques em demasia, etc.

O décimo primeiro passo, segundo SUZUKI (1994), a segurança, a prevenção de acidentes e a higiene são fatores de grande importância nas indústrias hoje, não só com o objetivo de reduzir a zero todas as perdas, mas também para garantir a motivação dos trabalhadores. As ações nessas áreas se promovem sistematicamente como parte das ações dos outros pilares do TPM. Portanto, o TPM prevê as seguintes estratégias chaves para prevenir acidentes, as quais, são baseadas no binômio pessoas e máquinas SUZUKI (1994):

- Prevenir acidentes devido à ação humana através da conscientização das pessoas;
- Antecipar-se ao perigo;
- Adotar medidas de prevenção contra erros;
- Tratar as fontes de erro humano melhorando o ambiente, promovendo treinamentos, melhorando a saúde física e mental dos trabalhadores;
- Realizar auditorias periódicas de segurança.

E, finalmente, no décimo segundo passo, é preciso continuar com a empresa empenhada, perseguindo novos objetivos e fortalecendo a cultura corporativa. O programa TPM deve manter-se alinhado aos esforços estratégicos da organização que promovam sua sobrevivência e rentabilidade.

#### 2.3.1.4 *Overall Equipment Effectiveness* (OEE)

O TPM fornece um indicador para medir a produtividade dos equipamentos, chamado Eficácia Geral do Equipamento (*Overall Equipment Effectiveness* – OEE). Apresentando primeiramente por NAKAJIMA, esse indicador identifica e mede perdas em aspectos importantes da fabricação, a saber, disponibilidade, desempenho/velocidade e qualidade, conforme equação 2.1. O conceito de OEE tornou-se cada vez mais popular e é amplamente utilizado como uma ferramenta quantitativa para medir o desempenho do equipamento na indústria (HUANG & DISMUKES, 2003; MUCHIRI & PINTELON, 2008)

$$OEE = D \cdot \eta \cdot v \quad (2.1)$$

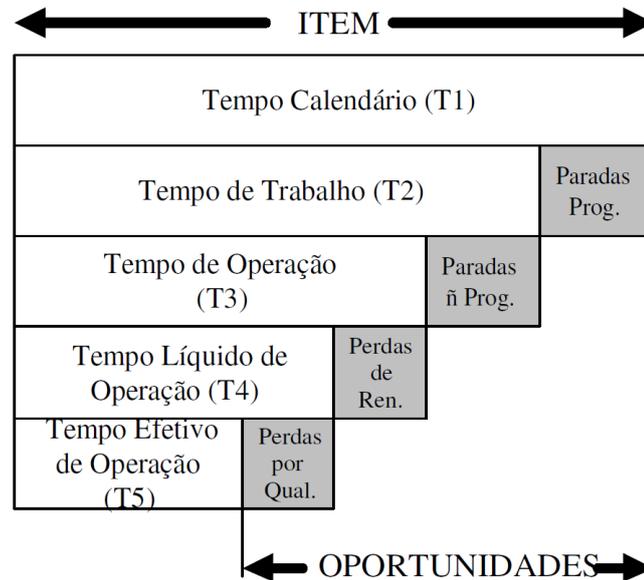
Onde: D - disponibilidade;  $\eta$  - rendimento;  $\nu$  - qualidade. Os cálculos desses índices podem ser definidos conforme as equações 2.2, a 2.4 abaixo. Os tempos identificados nas equações acima estão ilustrados na Figura 5

$$D = \frac{\text{Tempo de operação (T3)}}{\text{Tempo calendário (T1)}} \quad (2.2)$$

$$\eta = \frac{\text{Tempo líquido de operação(T4)}}{\text{Tempo de operação (T3)}} \quad (2.3)$$

$$\nu = \frac{\text{Tempo efetivo de operação (T5)}}{\text{Tempo líquido de operação(T4)}} \quad (2.4)$$

Figura 5 – Detalhamentos das perdas, para o cálculo do OEE.



Fonte: SANTOS et al. (2005)

Cada uma dessas perdas, mostradas na Figura 5, pode ser decorrente do envelhecimento ou obsolescência dos equipamentos frente a uma nova geração, mas também pode estar funcionalmente relacionada à disponibilidade, eficiência de desempenho e/ou taxa de qualidade de uma organização (RIIS et al., 1997). Assim, as metas para eliminar ou reduzir as perdas, apresentadas na Figura 5, devem estar intrinsecamente ligadas às metas corporativas e devem ser também tarefas do setor da manutenção. Segundo RIIS et al. (1997) e NAKAJIMA (1988), se uma empresa tem um OEE de 85% ou mais, então é considerada uma empresa de classe mundial.

### 2.3.1.5 Facilitadores e Obstáculos do TPM

Segundo PARRILLA et al. (2002) e SUZUKI (1994) somente haverá **sucesso na implementação do TPM**, se houver:

- a. Investimento em treinamento em todos os níveis, descentralização do departamento de manutenção e motivação da equipe, buscando criar uma organização corporativa que maximize a eficiência dos sistemas de produção;
- b. Implementação de programas de qualidade; *softwares* de gerenciamento integrado; programação diária e serviços de manutenção; detalhamentos das OS;
- c. Melhor interface entre operação e manutenção, buscando redução de indisponibilidades em paradas programadas,
- d. Envolver todos os departamentos, desde a alta administração até os operadores da planta, em torno do mesmo projeto, para que se possa produzir no momento, na quantidade e com a qualidade necessárias. Ou seja, produzir para entregar (*just in time*<sup>4</sup>)
- e. Orientar decididamente as ações em busca de zero perdas apoiando-se nas atividades dos pequenos grupos”

PAI et al. (2018) desenvolveram um estudo sobre o uso do TPM em 50 Pequenas e Médias Empresas (PMEs), envolvendo indústrias de manufatura, processos e serviços. Em que o objetivo dos autores consiste em descobrir as **razões para o insucesso do TPM** nessas PMEs. De acordo com esta pesquisa, os principais fatores que afetam o uso do TPM nas PMEs selecionadas são:

- Ausência de envolvimento e apoio da gerência;
- Resistência dos empregados à mudança do sistema de trabalho existente;
- Crença de que o TPM só é benéfico para indústrias de grande escala;
- Dificuldade em alcançar envolvimento da força de trabalho;
- Falta de sistema de recompensa para os funcionários;
- Necessidade de um forte Sistema Computadorizado de Gerenciamento da Manutenção (*Computer Maintenance Management System – CMMS*) para TPM, dado que o TPM requer confiabilidade e precisão no planejamento, programação e documentação das atividades de manutenção;

---

<sup>4</sup> *Just In Time* é um sistema que determina que tudo deve ser produzido, transportado ou comprado na hora exata. Pode ser aplicado para reduzir estoques e os custos decorrentes. Os produtos somente são fabricados ou entregues a tempo de serem vendidos ou montados. O conceito desse sistema está relacionado ao de produção por demanda, onde vende-se o produto para depois comprar a matéria prima e posteriormente fabricá-lo ou montá-lo (CHENG & PODOLSKY, 1996).

- Necessidade de atualização contínua de habilidades e melhorias;
- Retorno mais lento dos investimentos;
- Necessidade de maior suporte financeiro da gestão.

SANTOS (2009) complementa os seguintes fatores que normalmente levam ao insucesso da implantação do TPM:

- Ritmo de produção diário crescente, com o mesmo time;
- Pouco tempo para realização da manutenção autônoma;
- Trabalho sob estresse;
- Falta de treinamento (não apenas técnico, mas administrativo);
- Falta de valores referenciais;
- Metas que não são alcançadas e são abandonadas sem explicação.

Para AZEVEDO (2001), além dos objetivos de melhoria de produção, a TPM nos trouxe o binômio manutenção/operação como uma forte proposta de mudança cultural, definitivamente orientada à ação coletiva e à gestão participativa. Entretanto, segundo o autor, embora o fato que a TPM focalize a otimização logística da manutenção e então da utilização dos “ativos industriais”, um número importante de empresas estima não ter tirado o benefício esperado desta estratégia de otimização. Na realidade, estas empresas encontram um problema muito mais generalizado na indústria que é a dificuldade em medir e traduzir as aplicações metodológicas em resultados financeiros quantitativos.

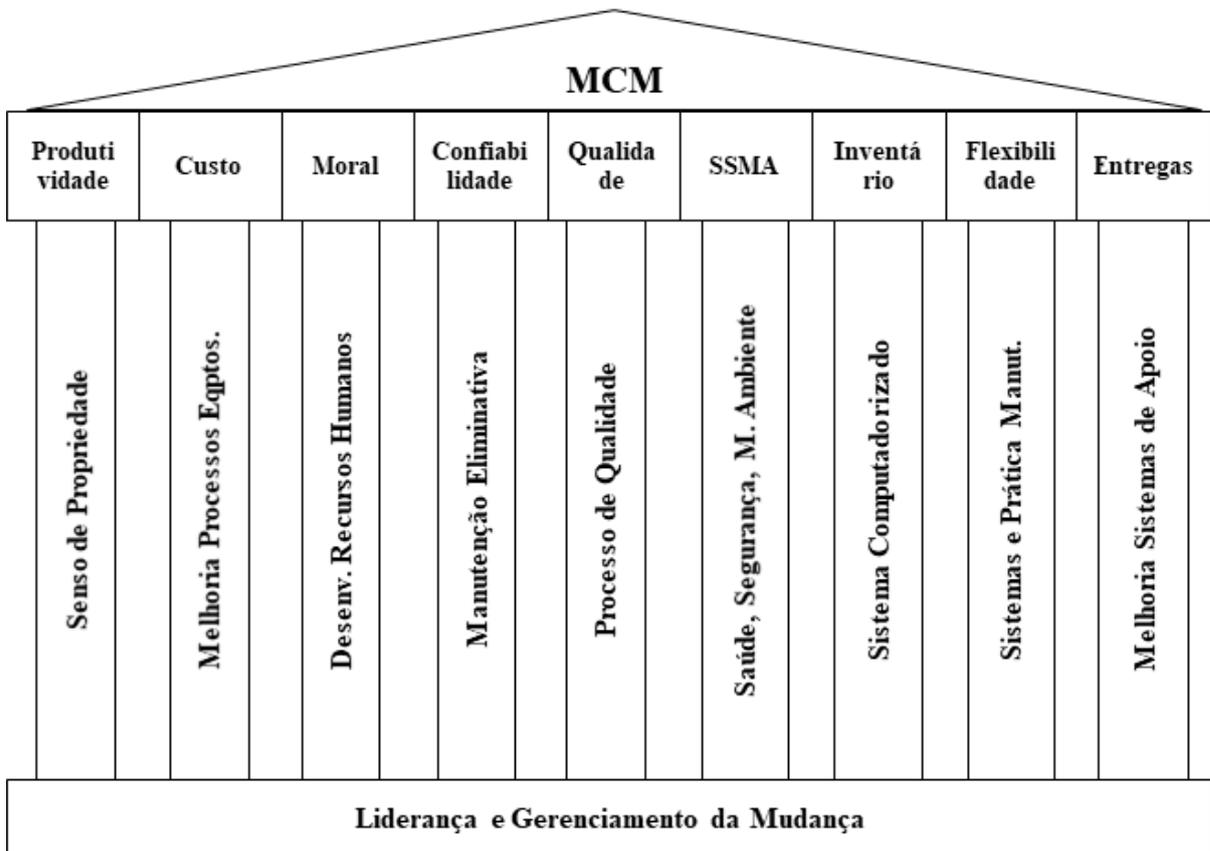
## 2.4 MANUTENÇÃO DE CLASSE MUNDIAL

Para superar algumas das dificuldades encontradas pelas empresas em implementar o TPM, como as apresentadas anteriormente, alguns pesquisadores e profissionais como LABIB (1998), WIREMAN (1991) e INGALLS (2002) conduziram um estudo detalhado para entender essas deficiências e propuseram várias soluções na forma de “melhores práticas”, que levaram ao desenvolvimento de um conceito alternativo chamado de sistemas de MCM (KODALI et al., 2009). A literatura apresenta várias definições para esse tipo de classificação, mas de um modo geral, as organizações que possuem MCM são aquelas que tem a função manutenção com visão estratégica para os objetivos do negócio da empresa e que apresentam as melhores práticas e valores referenciais para indicadores de desempenho (KODALI et al., 2009).

A MCM tem como principal objetivo propor métricas, bem como valores referenciais, para classificar a função da manutenção de uma empresa como de classe mundial (KUMAR et al., 2013). Dessa forma, quando uma empresa quer ser considerada de classe mundial, deve atingir altas metas e para isso deve aplicar o benchmarking para comparar seu desempenho com o de organizações com as melhores práticas e resultados. Portanto, o sucesso da MCM reside não apenas na proposta de métodos comuns para o cálculo de parâmetros, mas no estabelecimento de números reais como alvos (KUMAR et al., 2013).

A WCM está estruturada sobre 10 pilares, estando o pilar de “Liderança e Gerenciamento da Mudança” na base de todo o sistema, sustentando os demais. Os outros nove pilares, ao serem conduzidos no sentido de atingir as melhores práticas, levam toda a organização à melhoria de seu desempenho atingindo vantagens competitivas. A cada pilar da Figura 6, a empresa deve desenvolver um conjunto de atributos e métricas a serem alcançados (KODALI et al., 2009).

Figura 6 – Pilares e atributos da MCM



Fonte: Adaptado de KODALI et al. (2009)

Se analisarmos a Figura 6, percebe-se claramente que é o modelo da MCM é construído sobre os conceitos básicos dos oito pilares proposto pelo pai do TPM, Nakajima. Por exemplo, o pilar Senso de Propriedade refere-se ao pilar de Manutenção autônoma; o Desenvolvimento de Recursos Humanos refere-se ao Educação e Treinamento; Melhoria de Processos/Equipamentos refere-se ao Melhoria Especifica; Processo de Qualidade refere-se ao Manutenção de Qualidade; Manutenção Eliminativa refere-se ao Gestão Antecipada; Sistemas e Práticas de Manutenção referem-se ao Manutenção Planejada; enquanto que o pilar de Segurança, Saúde e Meio ambiente é exatamente o mesmo (KODALI et al., 2009).

Entretanto, a MCM enfatiza a medição de desempenho, propondo métricas relacionadas às prioridades competitivas de produtividade, qualidade, custo, entrega, etc. Enquanto que as estruturas do TPM não destacam diretamente a medição de desempenho, apenas defendem o uso do OEE. Portanto, pode-se concluir que existem uma diferença entre a MCM e o TPM. Mas deve-se lembrar que a MCM evidencia as melhores práticas e está fundamentada sobre os princípios, conceitos, procedimentos, ferramentas e técnicas do TPM (KODALI et al., 2009).

### **3 MELHORES PRÁTICAS DE GESTÃO DA MANUTENÇÃO**

As práticas gerenciais têm o objetivo de tentar equilibrar a complexidade das organizações dotadas de modernas tecnologias com as ações requeridas para administrá-las e com cada vez mais confiabilidade. As práticas apresentadas neste capítulo estabelecem uma gestão de manutenção dotada de visão sistêmica e estratégica, e envolvem em suas bases conceituais elementos da produtividade total, fundamentados na filosofia do TPM. Uma vez que o TPM é na realidade um ajuste organizacional por meio da incorporação de uma cultura que busca, de forma contínua, a melhoria de produtividade total da organização, tendo como foco central a manutenção (SANTOS et al., 2005).

Nesse contexto, é importante que sejam identificadas as principais áreas que proporcionam o desenvolvimento da manutenção e quais ações são recomendadas para atingir patamares mais elevados de produtividade, com os menores custos possíveis. A partir da revisão bibliográfica (RIIS et al., 1997; NAKAJIMA, 1988; MIRSHAWKA & OLMEDO, 1993; DUFFUAA, & RAOUF, 2015), foi identificado as seguintes áreas, bem como fatores determinantes para o desenvolvimento das mesmas, que serão descritos nas próximas seções:

1. Organização da Manutenção;
2. Programas de Treinamento;
3. Ordens de serviço (OS);
4. Planejamento e Programação da Manutenção;
5. Manutenção Preventiva (MP);
6. Compras e Estoques de Manutenção;
7. Relatórios Gerenciais; e
8. Automação na Manutenção.

Segundo a revisão bibliográfica mencionada acima, as oito áreas mencionadas, quando corretamente planejadas, organizadas e administradas, constituem a base da excelência em manutenção. Evidentemente que para a aplicação das práticas aqui recomendadas, como ressalta SANTOS (1999), é necessário que a situação específica da empresa e o ambiente em que está inserida devem estar razoavelmente compreendidos pelos atores internos à organização. Isso, no sentido de que se tornem mais eficaz e eficiente a tarefa de encontrar a solução de manutenção mais apropriada, ou de elevação de produtividade para a organização. Dessa forma, cabe à empresa determinar que parâmetros são os mais relevantes na busca da trajetória mais adequada para atingir suas metas.

### 3.1 ORGANIZAÇÃO DA MANUTENÇÃO

Segundo BRANCO FILHO (2008), uma parte integrante e inerente de todo e qualquer estudo sobre as atitudes de uma gerência de manutenção é a compreensão de como a equipe de manutenção está distribuída, bem como de que modo toda a estrutura hierárquica funciona dentro da organização e quem influi na sequência dos acontecimentos. Portanto, é fundamental que o organograma da manutenção esteja completo e atualizado, possibilitando o real conhecimento do quadro funcional (MIRSHAWKA & OLMEDO, 1993).

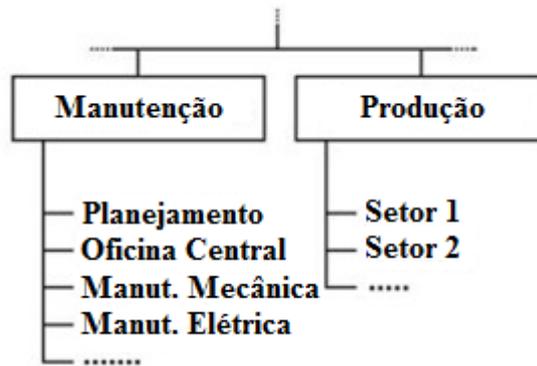
Para MONCHY (1989), um “bom” organograma é uma condição não suficiente, mas necessária para a realização da “função manutenção” dentro da empresa. Uma vez que é a partir do organograma que se poderá obter informações a respeito da Estruturação, Subordinação e Composição Funcional da Manutenção. Além do organograma, MIRSHAWKA & OLMEDO (1993) e HAROUN & DUFFUAA (2009) ressaltam que as relações e responsabilidades de cada divisão/seção de manutenção devem estar claramente especificadas nos cadernos de encargos (*job descriptions*). Onde cada cargo deve ter sua respectiva descrição de função, constando qualificações e experiências necessárias para o trabalho. Constituindo-se em uma ferramenta importante para treinamento e racionalização de habilidades dentro da manutenção.

#### **Estruturação da Manutenção**

A estruturação das instalações de manutenção tem efeitos importantes no desempenho do setor de manutenção e pode se distinguir em três importantes tipos de organização: centralizada, descentralizada e híbrida (ou matricial).

A Manutenção centralizada é composta por um único órgão de manutenção, com o mesmo nível dos órgãos de administração e operação, por exemplo. Esse único órgão, composto por uma equipe centralizada, deve atender a qualquer tipo de necessidade de intervenção, em qualquer setor demandado (SOUZA, 2008; HAJSHIRMOHAMMADI & WEDLEY, 2004), como mostra um exemplo na Figura 7. Esse tipo de estrutura é mais adequada, principalmente, em organizações de pequeno a médio porte (HAROUN & DUFFUAA, 2009), ou empresas cujo *layout* centraliza máquinas/equipamentos em uma área relativamente pequena. Por exemplo, indústrias de processamento, como fábricas de cimento, refinarias e plantas petroquímicas (KARDEC & NASCIF, 2017). Os principais benefícios e limitações da Manutenção centralizada são as que seguem na Tabela 3.

Figura 7 – Estrutura organizacional da Manutenção Centralizada



Fonte: Adaptado de HAJSHIRMOHAMMADI & WEDLEY (2004)

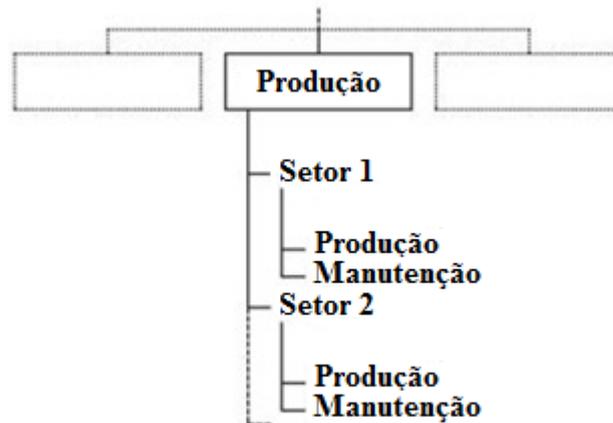
Tabela 3 – Benefícios e Limitações da Manutenção Centralizada

<b>Manutenção Centralizada</b>	
<b>Benefícios</b>	<b>Limitações</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• O efetivo de manutenção tende a ser menor;</li> <li>• Maior flexibilidade na alocação de mão de obra;</li> <li>• Estrutura de supervisão mais enxuta;</li> <li>• Maior qualidade no gerenciamento de dados de controle.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pode causar atrasos nas tomadas de decisão e, portanto, maior tempo de resposta;</li> <li>• Pode levar a uma coordenação horizontal deficiente entre os departamentos;</li> <li>• Visão restrita dos objetivos organizacionais;</li> <li>• Supervisão de trabalhos mais difícil pela necessidade de deslocamento às várias frentes de trabalho.</li> </ul>

Fonte: HAROUN & DUFFUAA (2009), HAJSHIRMOHAMMADI & WEDLEY (2004) e KARDEC & NASCIF (2017).

A manutenção descentralizada, conforme Figura 8 a seguir, é caracterizada pela divisão da planta em setores produtivos. Cada um dos quais gerencia suas próprias funções de manutenção, tanto de execução quanto de planejamento e controle, geralmente sob a supervisão do gerente de produção da área (SOUZA, 2008, HAJSHIRMOHAMMADI & WEDLEY, 2004 e HAROUN & DUFFUAA, 2009). Esse tipo de estrutura ocorre principalmente em indústrias de grande porte, onde as características do processo e as grandes distâncias entre as diversas linhas de produção promovem tendência à descentralização (KARDEC & NASCIF, 2017). Os principais benefícios e limitações da Manutenção centralizada são as que seguem na Tabela 4

Figura 8 – Estrutura organizacional da Manutenção Descentralizada



Fonte: Adaptado de HAJSHIRMOHAMMADI & WEDLEY (2004)

Tabela 4 – Benefícios e Limitações da Manutenção Descentralizada

<b>Manutenção Descentralizada</b>	
<b>Benefícios</b>	<b>Limitações</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Facilita a coordenação eficaz dentro e entre a manutenção e outros departamentos;</li> <li>• Serviços e comunicação mais rápidos;</li> <li>• Melhor especialização no nível de setor produtivo;</li> <li>• Maior atenção à planta;</li> <li>• Acesso mais rápido de serviços de emergência.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Maiores despesas administrativas;</li> <li>• Podem acontecer conflitos entre os departamentos;</li> <li>• Redução na flexibilidade do sistema de manutenção como um todo;</li> <li>• Utilização de mão de obra menos eficiente do que na manutenção centralizada;</li> </ul>

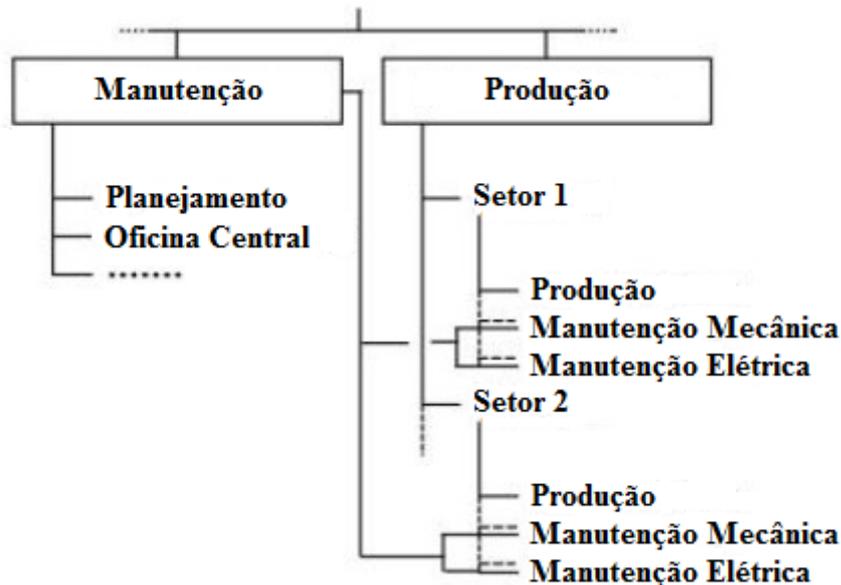
Fonte: HAROUN & DUFFUAA (2009), HAJSHIRMOHAMMADI & WEDLEY (2004) e KARDEC & NASCIF (2017).

Segundo HAJSHIRMOHAMMADI & WEDLEY (2004), raramente é possível fornecer serviços de manutenção de forma ótima utilizando uma configuração extrema de uma dessas duas opções. Por exemplo, para os autores, mesmo que a estrutura geral seja identificada como “descentralizada”, uma oficina de manutenção centralizada é geralmente uma parte inevitável da organização industrial. O mesmo pode ser verdade para serviços de instrumentação ou manutenção de pontes rolantes. Além do estoque de manutenção, que embora possa ser distribuído em diferentes áreas operacionais, gerencialmente é gerenciado centralmente para conseguir atender a planta inteira.

Na prática atual, a organização de manutenção, na maioria das indústrias, apresenta-se na forma híbrida ou matricial para alguns autores. Trata-se, portanto, de uma combinação das duas formas de atuação: centralizada e descentralizada, reunindo vantagens de ambas. Nesse

tipo de estrutura (Figura 9), existe uma única gerência que centraliza os métodos e processos de controle padronizados da manutenção e, ao mesmo tempo, oferece autonomia a cada setor produtivo para a realização de atividades cotidianas (HAROUN & DUFFUAA (2009); HAJSHIRMOHAMMADI & WEDLEY (2004); KARDEC & NASCIF, 2017 e SOUZA, 2008).

Figura 9 – Estrutura organizacional da Manutenção Mista



Fonte: Adaptado de HAJSHIRMOHAMMADI & WEDLEY (2004)

Esse tipo de estrutura pode apresentar-se de várias formas. Em algumas plantas, a descentralização pode estar nos “ofícios”, por exemplo, elétrica, instrumentação, mecânica. Em outras organizações, o recurso de descentralização pode ser baseado nos tipos de serviços, como reparos, revisões gerais ou lubrificação. Em algumas fábricas, pode ser baseado no aspecto de planejamento dos serviços, ou seja, reparos de emergência rotineiros ou regulares, etc. Portanto, as combinações do que pode ser fornecido localmente *versus* centralmente podem ser diversas (HAJSHIRMOHAMMADI & WEDLEY, 2004).

Para HAROUN & DUFFUAA (2009), KARDEC & NASCIF (2017) e HAJSHIRMOHAMMADI & WEDLEY (2004), embora essa estrutura reúna as vantagens da centralização e descentralização, pode apresentar potenciais conflitos devido à dupla supervisão: um supervisor local na área de produção e outro supervisor de manutenção que é responsável pelo desempenho dos trabalhadores atribuídos às áreas de produção. Para resolver esse potencial conflito, a autoridade do supervisor de manutenção *versus* a autoridade do supervisor de produção tem que ser claramente definida. Daí também a importância de manter

cadernos de encargos e organograma completo e atualizado. Normalmente, o supervisor de produção prescreve as prioridades de trabalho, já que afetam a produção, enquanto o controle geral de desempenho permanece sob a responsabilidade do supervisor de manutenção.

Segundo CAMPBELL (1995), não existe uma estrutura organizacional que possa ser considerada correta e que possa ser implantada em qualquer organização sem ajustes e adaptações. Para o autor, o que existe são estratégias que podem ser utilizadas em situações específicas. CALLIGARO (2003) observa que questões como: posição, níveis hierárquicos e configuração da organização, devem ser estabelecidos com base nos objetivos e metas traçadas por cada organização. Desde que, como recomenda NAKAJIMA (1988), YOSHIKAZU (1990), DAVIS (1995) e outros, a organização preze pela participação e envolvimento total do pessoal da organização (desde a alta administração ao pessoal de chão de fábrica) nas decisões de manutenção.

Em resumo, MONCHY (1989) e HAJSHIRMOHAMMADI & WEDLEY (2004) recomendam que a centralização deve ser administrativa e hierárquica, enquanto a descentralização deve ser geográfica e realizada no nível das atividades. De tal forma que a centralização hierárquica permita:

- Otimização do emprego de recursos;
- Maior controle dos custos de manutenção;
- Padronização dos processos e meios de comunicação;
- Acompanhamento padronizado dos equipamentos e suas falhas;
- Melhoria na gerência dos ativos.

E a descentralização geográfica possibilite:

- Delegação de responsabilidade aos chefes de equipe;
- Relacionamento mais próximo com o cliente dos serviços;
- A vantagem de equipes menores e multidisciplinares;
- Eficácia e rapidez nas intervenções.

Essa concepção também é observada por MCGUEN (apud HIGGINS et al. 2001), quando afirma que nenhuma planta industrial demanda uma organização totalmente centralizada ou descentralizada. O ideal é a utilização de uma combinação que resulte no melhor conjunto de vantagens para dada operação produtiva. De tal forma que a escolha dependerá de aspectos como localização, geografia, tamanho e idade da planta, tamanho das equipes de manutenção e outras peculiaridades das instalações.

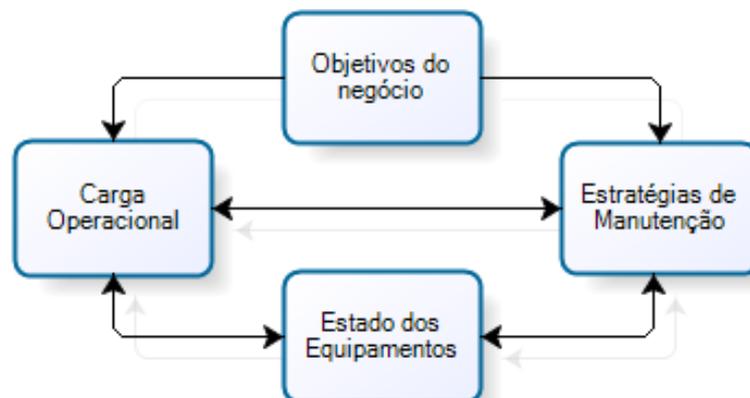
## Subordinação da Manutenção

Outro ponto importante na discussão sobre a organização da manutenção baseia-se no nível hierárquico da sua estrutura nas empresas. KARDEC & NASCIF (2017) afirmam que a subordinação da manutenção varia de acordo com o tamanho da empresa, sua política organizacional e o impacto das atividades de manutenção nos resultados. Nas empresas pequenas, por exemplo, as funções técnicas ficam reunidas, estando nelas incluídas manutenção, engenharia, inspeção e serviços gerais. Conforme PINTO (2005) e HAROUN & DUFFUAA (2009), para a grande maioria das organizações, o gerente do departamento de manutenção deve se reportar diretamente à superintendência ou diretoria da organização industrial, ou seja, se reportar à alta administração e estar subordinado ao primeiro escalão empresarial.

MURTHY et al. (2002) sugerem que a manutenção não deve ser vista apenas em seu contexto operacional, lidando com falhas de equipamentos e suas consequências, mas também num contexto estratégico de longo prazo. O gerenciamento estratégico da manutenção propõe uma abordagem multidisciplinar onde a mesma seja vista a partir de todas as perspectivas da produção e do negócio, conforme representado na Figura 10.

Portanto, os autores advertem que as decisões da manutenção e da operação devem ser tomadas em conjunto. XAVIER (2005) afirma que essa parceria entre operação e manutenção é fundamental para alcançar a excelência. E pode ser dada através da formação de times em áreas específicas para análise conjunta de: falhas, problemas crônicos, desempenho de equipamentos, planejamento de serviços e até na programação diária, como propõe a estrutura matricial de organização.

Figura 10 – Elementos chave do gerenciamento estratégico da manutenção



Fonte: Adaptado de MURTHY et al. (2002)

## **Composição Funcional da Manutenção**

Segundo KARDEC & NASCIF (2017), uma das melhores práticas de gestão da manutenção é ter um quadro de pessoal de manutenção qualificado e, preferencialmente, certificado. Entretanto, RIIS et al. (1997) afirmam que para a sistematização de um modelo para a gestão da manutenção, deve-se não só levar em consideração os aspectos referentes à qualificação técnica, mas também as necessidades das pessoas. Assim será possível estabelecer condições que permitam a realização de mudanças profundas nas culturas organizacionais, objetivando o estímulo à construção de um ambiente propício à internalização de novas atitudes e comportamentos, tendo como fundamentos a conscientização, engajamento, motivação e participação dos colaboradores.

Segundo GALAR et al. (2011a), identificar e entender o fator humano faz com que o colaborador trabalhe de forma mais satisfatória e, portanto, mais eficaz quanto aos objetivos organizacionais. Deve-se identificar os principais fatores que influenciam o esforço para alcançar os objetivos da manutenção. Alguns fatores como por exemplo, um senso de propriedade do equipamento, contribuem para a confiabilidade e conseqüentemente para a eficácia da função manutenção. Fatores relacionados à motivação contribuem para o uso eficiente dos recursos. Os autores ressaltam que a gerência pode empreender ações para mudar fatores humanos, como por exemplo, a criação de equipes de trabalho no nível do chão de fábrica, propostas no TPM, pode melhorar o sentimento de propriedade.

Segundo MIRSHAWKA & OLMEDO (1993), RANDLE et al. (2017) e HAROUN & DUFFUAA (2009), para o empregado estar motivado é necessário:

- Trabalho desafiante;
- Oportunidade de realizar algo significativo e de participar em decisões que o afetam;
- A expectativa de ter as suas habilidades e capacidade utilizadas;
- Reconhecimento por suas realizações, ou ainda recompensas salariais, com base na conclusão e desempenho de tarefas, ou alcance de metas;
- Oportunidade de progresso;
- O funcionário deve se sentir apoiado ou conectado aos indivíduos importantes da organização, como um gerente ou colegas de equipe;

O engajamento da liderança também é pontuado na literatura como essencial na busca de uma gestão da manutenção de alta performance. Segundo TSANG (2002), uma organização que deseja privilegiar a participação e a autonomia dos empregados deve encarar a hierarquia como uma função cujo objetivo é apoiar, e não só controlar. Os líderes devem, além de definir

diretrizes claras, também se engajarem de forma nítida na implementação das mesmas. A Figura 11 ilustra o posicionamento da liderança em uma organização de Manutenção. Para MIRSHAWKA & OLMEDO (1993), HAROUN & DUFFUAA (2009), e DUFFUAA & RAOUF (2015), os supervisores devem assumir as responsabilidades a seguir:

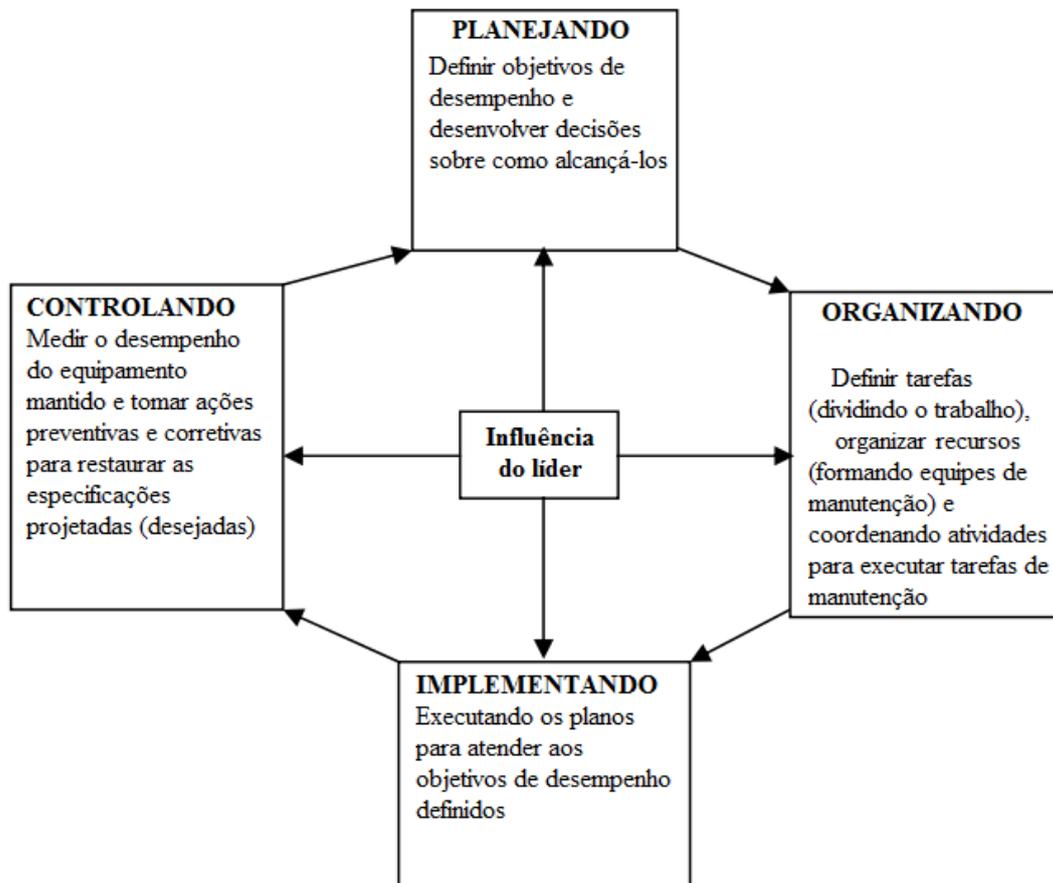
- Planejar e obter o volume de produção demandado;
- Atribuir ao pessoal as tarefas necessárias à execução das programações de serviços, bem como recomendar e atribuir horas extras;
- Obter os materiais, as ferramentas, as máquinas e os serviços que forem necessários;
- Dirigir o trabalho do pessoal, conferir o cumprimento das programações e dos procedimentos tecnológicos como tomar providencias para que as falhas sejam sanadas;
- Estudar, com o respectivo superior e supervisores de outras equipes, os problemas que influem no trabalho.

Para os autores, o bom supervisor deve ter, entre outras, as seguintes obrigações:

- Desenvolver nos colaboradores senso de responsabilidade e espírito de equipe, bem como explicar-lhes as razões de seus atos;
- Ajudar os auxiliares a melhorar seus desempenhos e manter-se atento aos problemas especiais dos colaboradores;
- Verificar a quantidade e a qualidade dos serviços executados.
- Reconhecer e fomentar talento e habilidade, notar e elogiar bom trabalho, bem como expor e abordar o descuido.

Ainda segundo os autores, a relação adequada entre os trabalhadores da manutenção e o supervisor é em média 12 trabalhadores para cada supervisor. E se a empresa possuir planejador de manutenção, o ideal é 1 para cada 20 manutentores.

Figura 11 – Atribuições da Liderança na organização da Manutenção



Fonte: Adaptado de HAROUN & DUFFUAA (2009)

### 3.2 PLANEJAMENTO, PROGRAMAÇÃO E CONTROLE DA MANUTENÇÃO

Como dito anteriormente, a função Manutenção deve contribuir decisivamente para atingir os objetivos do negócio da organização. Isso significa que o planejamento da mesma deve fazer parte do desenvolvimento do planejamento estratégico global da empresa, de tal forma que os objetivos da manutenção estejam interligados aos propósitos da organização (GURSKI & RODRIGUES, 2008). Pois, a manutenção dos equipamentos e a confiabilidade do sistema são fatores que afetam diretamente a capacidade da organização de fornecer antecipadamente serviços de qualidade aos clientes (COOKE, 2000 e MADU, 2000).

Nesse contexto, a medição de desempenho da manutenção através de indicadores gerenciais pode ser definida como o processo multidisciplinar de medir e justificar investimentos em manutenção para atender requisitos da organização vistos estrategicamente da perspectiva geral do negócio (PARIDA & CHATTOPADHYAY, 2007).

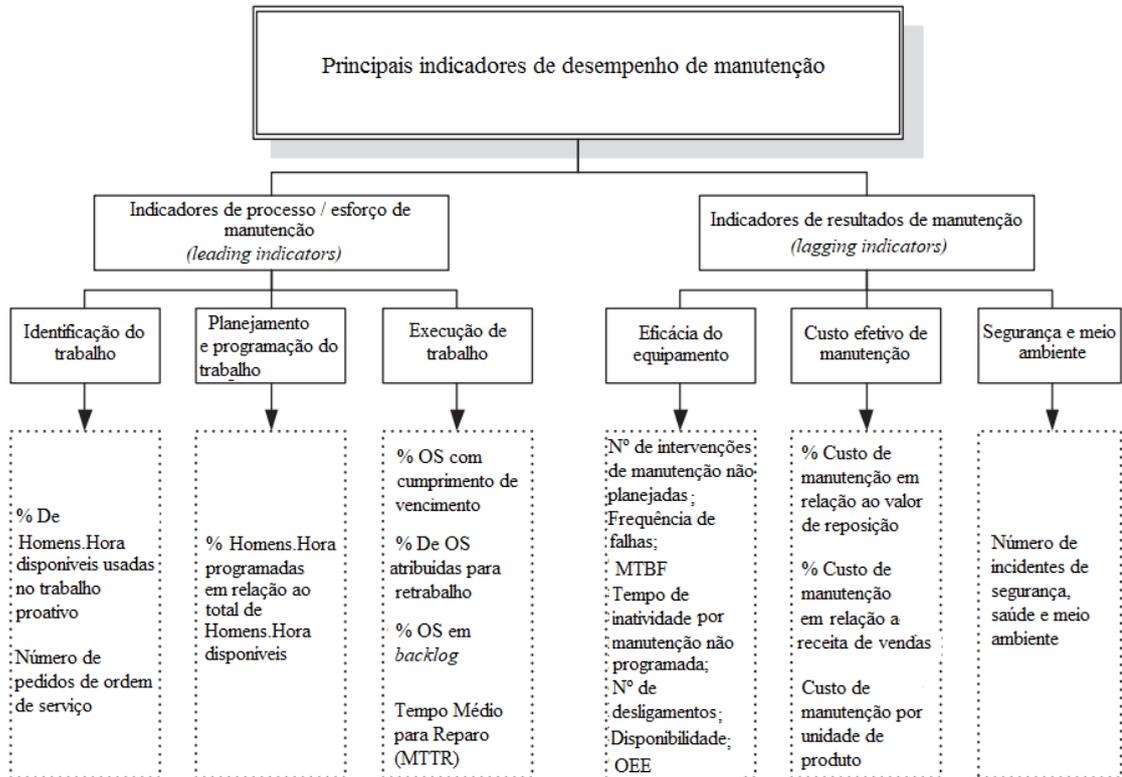
### 3.2.1 Indicadores de Performance de Manutenção (IPM)

O uso de indicadores objetivos pode ajudar a corrigir deficiências e aumentar a produção de uma organização. A principal questão na medição do desempenho de manutenção é a formulação e seleção de indicadores que forneçam ao gerenciamento de manutenção informações quantitativas sobre o desempenho da mesma e que ao mesmo tempo reflitam a estratégia organizacional da empresa (ARTS et al., 1998; SWANSON, 2001).

Segundo (KUMAR et al., 2013), os IPM podem ser amplamente classificados como “indicadores de condução”, ou como é definido em inglês, “*leading indicators*” e “indicadores de acompanhamento”, ou “*lagging indicators*”. Os Indicadores de Condução monitoram as tarefas que, quando executadas, “conduzem” aos resultados (por exemplo, fornecem informações sobre se o planejamento foi realizado ou se o trabalho agendado foi concluído no prazo), ou seja, são indicadores de processos de manutenção (conforme mostrado na Figura 12). Enquanto os Indicadores de Acompanhamento monitoram os resultados ou consequências alcançadas (por exemplo, o número de falhas de equipamentos e o tempo de inatividade).

De acordo com MUCHIRI et al. (2010), existem três categorias para classificação de indicadores de processos de manutenção (*leading indicators*): indicadores de identificação do trabalho, planejamento e programação do trabalho e indicadores de execução do trabalho (Figura 12). MUCHIRI et al. (2010) classificam três categorias para os indicadores de resultados de manutenção (*lagging indicators*): desempenho do equipamento, custos de manutenção e indicadores de segurança e meio ambiente. Cada categoria possui seus próprios indicadores, conforme mostrado na Figura 12.

Figura 12 – Principais indicadores de desempenho de manutenção na literatura



Fonte: Adaptado de KUMAR et al. (2013)

Nesse contexto, WEBER & THOMAS (2005) propõem alguns IPMs chaves, com base em requisitos de gerenciamento e confiabilidade de ativos físicos e os classificam nas categorias “Indicadores de Condução” e “Indicadores de Acompanhamento”, conforme Tabela 5.

Tabela 5 – Indicadores de Performance de Manutenção

Tipo de Medida	Medindo	Indicador de Desempenho	Nível de Classe Mundial (Alvo)
Resultado (Lagging)	Custo	Custo de Manutenção	Contexto específico
Resultado (Lagging)	Custo	Custo de Manutenção/ Valor do ativo de substituição	2-3%
Resultado (Lagging)	Custo	Custo de Manutenção/Custo de Manufatura	< 10-15%
Resultado (Lagging)	Custo	Custo de Manutenção/ Unidade de Saída	Contexto específico
Resultado (Lagging)	Custo	Custo de Manutenção/ Total de vendas	6-8%
Resultado (Lagging)	Falhas	TMEF	Contexto específico

Resultado ( <i>Lagging</i> )	Falhas	Frequência de Falhas	Contexto específico
Resultado ( <i>Lagging</i> )	Tempo de Inatividade	Tempo de inatividade relacionado à manutenção não programada (horas)	Contexto específico
Resultado ( <i>Lagging</i> )	Tempo de Inatividade	Tempo de inatividade relacionado à manutenção programada (horas)	Contexto específico
Proceso ( <i>Leading</i> )	Identificação do Trabalho	% de solicitações de trabalho que permanecem no status "Solicitação" por menos de cinco dias, durante período especificado	80% de todas as solicitações de trabalho devem ser processadas em 5 dias ou menos. Algumas solicitações de trabalho exigirão mais tempo para serem revisadas, mas a atenção deve ser dada à "data de término atrasada" .
Proceso ( <i>Leading</i> )	Identificação do Trabalho	% de Homens-hora disponíveis usada para trabalho proativo durante um período de tempo especificado.	75 a 80% de trabalho proativo. Reconhecendo de 5 a 10% de Homens-hora disponíveis atribuídas ao redesenho ou modificação (trabalho de melhoria) , o que deixa cerca de 10% a 15% para trabalhos reativos.
Proceso ( <i>Leading</i> )	Identificação do Trabalho	% de Homens-hora disponíveis e usada para modificações, durante período de tempo especificado.	Esperar um nível de 5 a 10% de Homens-hora gasto em trabalhos de modificação.
Proceso ( <i>Leading</i> )	Planejamento do Trabalho	% de acertos da estimativa de mão-de-obra nas OS, durante período de tempo especificado.	Estimar uma precisão de mais de 90% seria o nível esperado de desempenho.
Proceso ( <i>Leading</i> )	Planejamento do Trabalho	% de OS, com todos os campos de planejamento preenchidos, durante o período de tempo especificado.	+ de 95%. Deve-se esperar um alto nível de conformidade para preenchimento dos campos das OS, para permitir que a função de programação funcione.
Proceso ( <i>Leading</i> )	Planejamento do Trabalho	% de OS atribuídas ao <i>status</i> "Retrabalho" (devido a necessidade	Este nível não deve exceder 2 a 3%.

		de planejamento adicional) durante o último mês.	
Proceso (Leading)	Planejamento do Trabalho	% de OS em <i>status</i> de "Planejamento", com menos de 5 dias, durante o último mês.	80% de todas as OS devem ser processadas em 5 dias ou menos. Algumas OS exigirão mais tempo para planejar, mas a atenção deve ser dada à "data de término atrasada".
Proceso (Leading)	Programação do Trabalho	% de OS com data de programação antes do exigido, durante período de tempo especificado.	+ de 95% para garantir que a maioria das OS seja concluída antes de sua 'data de término atrasada'.
Proceso (Leading)	Programação do Trabalho	% de Homens-hora programada, durante período de tempo especificado.	80% dos Homens-hora deve estar aplicado em trabalho Programado.
Proceso (Leading)	Programação do Trabalho	% de OS atribuídas com <i>status</i> de "Atraso" devido à indisponibilidade de mão-de-obra, equipamento, espaço ou serviços durante período de tempo especificado.	Esse número não deve exceder de 3 a 5%.
Proceso (Leading)	Execução do Trabalho	% de OS concluída durante o período de planejamento, antes do vencimento	A conformidade do cronograma deve ser maior que 90%
Proceso (Leading)	Execução do Trabalho	% de OS de manutenção que exigem retrabalho.	O retrabalho deve ser inferior a 3%.
Proceso (Leading)	Execução do Trabalho	% de OS com todos os campos de dados de execução preenchidos, durante período de tempo especificado.	+ de 95% +. A expectativa é que as OS sejam concluídas corretamente.
Proceso (Leading)	Acompanhamento do Trabalho	% de OS fechadas em 3 dias, durante período de tempo especificado.	+ de 95%. A expectativa é que as OS sejam revisadas e fechadas imediatamente.
Proceso (Leading)	Análise de Performance	Número de ações para melhoria da confiabilidade do ativo, iniciadas em função da análise de desempenho, durante	Não existe uma definição de números. Mas é importante atividades em prol de melhorar lacunas de desempenho

		período de tempo especificado.	
--	--	--------------------------------	--

Fonte: Adaptado de WEBER & THOMAS (2005)

Outro conjunto popular de indicadores é o *Balanced Scorecard* (BSC), usado frequentemente para agrupar e hierarquizar indicadores chaves de manutenção e mostrar diferentes faces da função de manutenção (TSANG, 1998). O BSC é uma abordagem holística que agrupa medidas financeiras e não financeiras para medir o desempenho corporativo (KAPLAN & NORTON, 1992). De forma que o BSC usa uma combinação de *leading* e *lagging indicators*, em que medidas financeiras são usadas para indicar o desempenho passado e medidas operacionais para impulsionar o desempenho financeiro futuro (LIPE & SALTERIO, 2000). Esse método foi desenvolvido pela primeira vez por KAPLAN & NORTON (1992) e projeta a medida de desempenho de manutenção usando as quatro perspectivas a seguir:

### 1. Perspectivas financeiras

A perspectiva financeira de manutenção está no escopo da seguinte função: "alcançar a máxima disponibilidade, com máxima eficiência das instalações, mantidas com o menor custo possível; máxima segurança para o pessoal e instalações e no máximo respeito ao meio ambiente" (GALAR et al., 2011b). Todas essas questões podem ser alcançadas com um gerenciamento de manutenção adequado e são exibidas nessa perspectiva, o que mostra o sucesso econômico das metodologias usadas. Nesse sentido, o Custo do Ciclo de Vida (*Life Cycle Cost - LCC*) representa uma métrica eficaz para medir o desempenho instalações e equipamentos.

### 2. Perspectiva do cliente

Os "clientes" da função de manutenção são os vários departamentos da empresa que recebem seus serviços, especialmente ativos de produção e pessoal, porque são os mais afetados pela qualidade e eficiência do serviço. Pontos chaves a considerar em relação à perspectiva dos clientes são: satisfação com os serviços prestados aos clientes como resultado de intervenções, tempo de resposta, disponibilidade de instalações, informação recebida da manutenção, colaboração entre departamentos e a segurança da instalação para funcionários e meio ambiente (GALAR et al., 2011b).

### 3. Perspectiva de processos internos

Os indicadores incluídos nesta perspectiva devem estar relacionados à qualidade do processo de manutenção. Quando o *scorecard* é adaptado para a manutenção, essa perspectiva

tem todos os aspectos relativos aos sistemas que o departamento consegue organizar, monitorar e controlar suas próprias atividades. Portanto, essa perspectiva inclui tudo o que responde às perguntas: O que fazemos? Como é feito? Quão confiável é? Quanto é feito? Como controlamos o que é feito? A maneira pela qual as diversas atividades incluídas nessa perspectiva são organizadas e desenvolvidas marcará a eficácia da função de manutenção e a contribuição para alcançar os objetivos gerais de negócios da empresa (GALAR et al., 2011b).

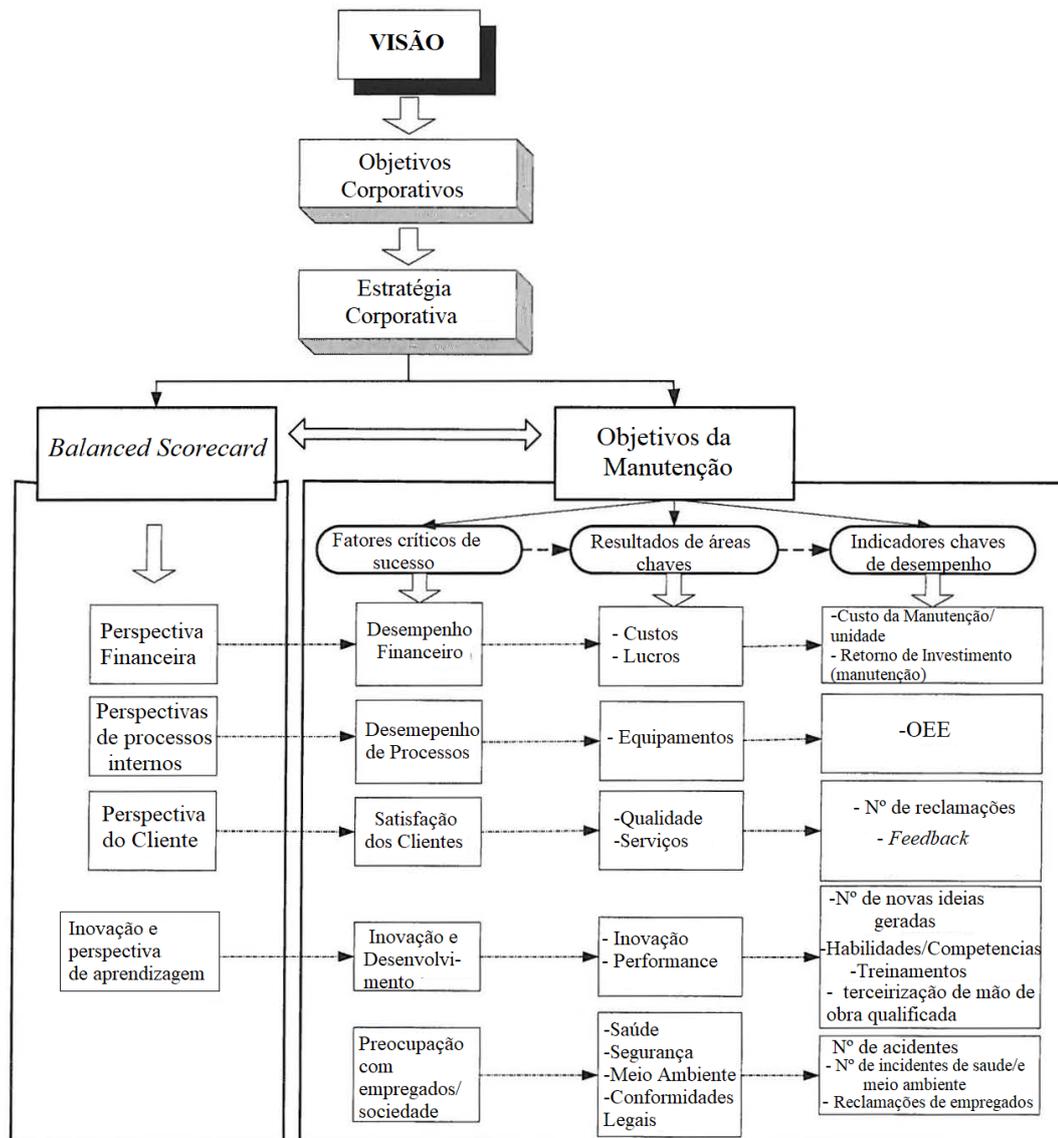
#### *4. Inovação e perspectiva de aprendizagem*

A obtenção de eficiência adequada nas perspectivas financeiras, do cliente e nos processos internos depende, em grande parte, da capacidade dos funcionários de desempenhar sua função, dos recursos com os quais trabalham e do nível de satisfação, devido ao pertencimento ao grupo de manutenção. Isso é particularmente importante para alcançar uma produtividade adequada. É o que já foi mencionado anteriormente como fator humano de manutenção (GALAR et al., 2011b).

A permanência e o desempenho dos funcionários de manutenção dependem essencialmente de seu nível de treinamento, habilidades e satisfação, e esses aspectos são consequência de três fatores-chave: concorrência, infraestrutura tecnológica e clima de trabalho. A organização e o departamento em que estão empregados devem visar a melhoria desses fatores como objetivos principais, a fim de alcançar a satisfação desejada do cliente, a retenção de funcionários e a produtividade. Isso é essencial para ter sucesso nas outras perspectivas e, conseqüentemente, nos objetivos gerais da estratégia de negócios (GALAR et al., 2011b).

Em resumo, conforme mostrado na Figura 13 abaixo, o objetivo corporativo deve estar vinculado aos objetivos da manutenção. Todas as divisões/departamentos da empresa que interajam com a manutenção devem estar alinhadas com os objetivos da manutenção, bem como, seus fatores críticos de sucesso, principais indicadores de desempenho e valores de referência. Uma vez que essa integração seja alcançada por uma organização, em todas as áreas, a organização pode alcançar excelência em manutenção, apoiando-a a atingir seus objetivos corporativos (PARIDA et al., 2003).

Figura 13 – Vinculação e relação entre objetivos corporativos e BSC com indicadores de desempenho de manutenção



Fonte: Adaptado de PARIDA et al., 2003

É importante não só definir indicadores. KAHN et al. (2011) ressalta a necessidade de comparar valores de referência dos indicadores dentro das empresas e com fábricas ou setores semelhantes. Esse processo é chamado de *Benchmarking*. Em outras palavras, é o “processo de identificação, conhecimento e adaptação de práticas e processos excelentes de organizações, de qualquer lugar do mundo, para ajudar uma organização a melhorar sua performance” (KARDEC & NASCIF, 2017).

Quando uma empresa deseja comparar o desempenho e a confiabilidade da manutenção interna ou externa, ela precisa de uma plataforma comum de indicadores predefinidos para

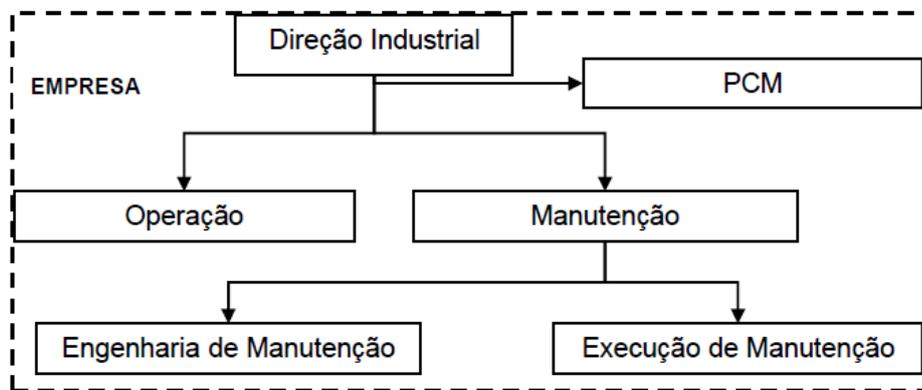
comparar as variáveis de referência. Alguns exemplos dessas plataformas são a *European Federation of National Maintenance Societies (EFNMS)*, na Europa, a *Society for Maintenance and Reliability Professionals (SMRP)*, nos EUA (KAHN et al., 2011), e a Associação Brasileira de Manutenção e Gestão de Ativos (ABRAMAN), já mencionada anteriormente nesta dissertação.

### 3.2.2 Planejamento e controle da manutenção

O Planejamento e Controle da Manutenção (PCM) é uma ferramenta de importância fundamental no processo de tomada de decisão. A Figura 14 mostra esquematicamente o posicionamento do PCM no organograma da manutenção. SOUZA (2008) define o PCM como sendo:

Um conjunto estratégico de ações para preparar, programar, controlar e verificar o resultado da execução das atividades da função manutenção contra valores pré-estabelecidos e adotar medidas de correções de desvios para a consecução das metas e objetivos da produção, consequentemente da missão da empresa.

Figura 14 – Posicionamento do PCM no organograma da manutenção.



Fonte: Adaptada de VIANA (2002)

Segundo BRANCO FILHO (2008), quando estabelecido em uma organização, o PCM consolida o ciclo de gerenciamento de manutenção, pela implementação das seguintes atividades:

- a) Definir e manter os indicadores de desempenho com os respectivos requisitos de referência, atualizar a documentação técnica dos equipamentos e máquinas e formar a relação de sobressalentes;
- b) Fazer atualização dos planos de manutenção;

- c) Revisar o cadastro de OS sistemáticas relacionadas aos planos de manutenção dos equipamentos e máquinas e respectivas periodicidades;
- d) Manter o sistema em regime de normalidade operacional com objetivo de preparar e conscientizar os colaboradores envolvidos com as atividades de manutenção, para apontamentos e registros das tarefas executadas, incluindo também, o registro das horas de equipamentos e máquinas paradas e causas das avarias;
- e) Fiscalizar os planos de manutenções sistemáticas e não sistemáticas oriundas de inspeções ou *check-list*, com todos os informativos necessários para as áreas solicitantes da organização;
- f) Verificar a organização do almoxarifado, bem como preparar os materiais sobressalentes e o ferramental necessário à execução dos serviços;
- g) Fazer criteriosa análise dos serviços planejados, das programações e *backlog*;
- h) Fazer a equalização da mão-de-obra e estabelecer novas periodicidades para os serviços, em função das verificações e análises de causas e desvios de planejamento;
- i) Criar histórico técnico estruturado dos equipamentos, máquinas e instalações, com registros de ocorrências planejadas e imprevistas;
- j) Organizar e analisar dentro de uma periodicidade adequada os relatórios gerenciais de manutenção;
- k) Proporcionar a orientação dos gerentes e chefes para obtenção de melhores resultados correlacionados à disponibilidade, confiabilidade e produtividade dos equipamentos, máquinas e das equipes de manutenção;
- l) Fazer acompanhamento e prestar suporte à instalação de novas versões de softwares de gerenciamento e manter as rotinas de integração com os outros sistemas;
- m) Realizar reuniões de conscientização com a participação dos colaboradores para a organização da manutenção e o total comprometimento com os resultados, para os níveis: estratégicos, gerencial, tático e operacional.

Estas atividades em determinadas empresas se tornaram tão importante que o PCM passou a compor uma área de assessoramento à supervisão geral de produção/operação (SOUZA, 2008). Entretanto, para MIRSHAWKA & OLMEDO (1993), é essencial que haja a função de planejador de manutenção, 100% dedicada a este trabalho. Em muitas empresas, a falta de um setor destinado ao PCM faz com que o supervisor acabe fazendo o planejamento do serviço um pouco antes do mesmo ser iniciado. Não tendo, pois, muito tempo para planejar nada sobre ferramentas, materiais, métodos, etc. necessários a execução da tarefa (MIRSHAWKA & OLMEDO, 1993).

Para que o PCM possa ser implantado é fundamental a estruturação de um Sistema de planejamento e controle, que pode ser manual ou informatizado. A Tabela 6, a seguir, mostra uma comparação entre as principais vantagens e desvantagens apresentadas por ambos os tipos de sistemas.

Tabela 6 – Comparação entre sistemas de controle manual e informatizado

	<b>Controle Manual</b>	<b>Controle Informatizado</b>
<b>Benefícios</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Fácil implantação e execução;</li> <li>✓ Custo Baixíssimo;</li> <li>✓ Aceita menor envolvimento do pessoal para implantação</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Processamento de grandes volumes de informações, o que torna mais fácil a apresentação de relatórios;</li> <li>✓ Mais confiável;</li> <li>✓ Torna mais rápida a pesquisa de dados históricos dos equipamentos;</li> <li>✓ Os programas permitem um levantamento atualizado do que está acontecendo e quanto está custando.</li> </ul>
<b>Desvantagens</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Dispersão dos dados;</li> <li>✓ Necessidade de um grande número de pessoas para fornecer os dados</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Os custos e prazos para implantação são maiores;</li> <li>✓ Maiores cuidados no treinamento dos responsáveis pelos dados;</li> <li>✓ Eventuais rejeições por parte dos colaboradores, por não gostarem de fazer “trabalhos de mesa”</li> </ul>

Fonte: Adaptado de REIS et al. (2010).

De forma geral, um serviço bem planejado, adequadamente programado e efetivamente controlado, pode conduzir a um processo mais eficiente, a um custo menor, com menores distúrbios para operação, maior qualidade, aumento da moral da equipe com maior satisfação no trabalho, aumento da durabilidade dos equipamentos e redução do consumo de peças. Estudos demonstram que, a cada hora dedicada ao planejamento da manutenção, são economizadas três horas na fase de execução (CALLIGARO,2003).

Conforme BRANCO FILHO (2008), ROSA (2006) e (MIRSHAWKA & OLMEDO, 1993), alguns procedimentos devem ser observados para organizar o departamento de Planejamento, Programação e Controle da Manutenção.

#### Planejamento:

1. Organizar os serviços conforme o prazo ou periodicidade, em cargas semanais;
2. Analisar as tarefas para determinar métodos adequados e as sequências das operações;

3. Indicar as funções técnicas, ferramentas, materiais técnicos exigidos;
4. Planejar disponibilidade de equipamentos e máquinas;
5. Atribuir responsabilidades pelos serviços a serem executados, considerando especialidades;
6. Registrar medidas de segurança necessárias à liberação dos serviços.

#### Programação:

1. Determinar a data de início e término de execução das atividades, bem como suas prioridades;
2. Aprovisionar adequadamente ferramentas e materiais;
3. Determinar as participações dos especialistas, supervisores ou chefes;
4. Coordenar, supervisionar a produção, através de reuniões semanais;
5. Verificar o comportamento da execução das atividades para que o programa seja cumprido ou ajustado;
6. Cadastrar e alocar a mão-de-obra, bem como a apropriação das horas trabalhadas.

#### Controle:

1. Confrontar o desempenho efetivo com o padrão estabelecido na organização, acompanhados dos cálculos dos desvios dos indicadores;
2. Apresentar cálculos de eficiência prevista, utilização e produtividade na manutenção;
3. Estabelecer sistemas de documentação técnica;
4. Registrar os custos de manutenção de cada equipamento e máquina;
5. Estabelecer método para localização de máquina e equipamento obsoleto.

### 3.3 COMPRAS E ESTOQUE DE MANUTENÇÃO

WIREMAN (1998) observa que os fornecedores exercem grande impacto em todos os fatores importantes para a estratégia de operações. Tais impactos no universo da manutenção ocorrem no quesito qualidade dos serviços que não geram retrabalhos, pois uma peça fornecida sem a devida qualidade nas suas especificações pode ser motivo de corretivas, e conseqüentemente no quesito custos. Nesse sentido, CALLIGARO (2003) e VIANA (2013) também destacam que o planejamento, programação e eficácia dos serviços de manutenção são fortemente dependentes da disponibilidade, confiabilidade e tempo de entrega de materiais e sobressalentes. Além disso, LI et al. (2016) ressalta que o gerenciamento eficaz de peças de reposição pode melhorar a eficiência da operação, reduzir os custos operacionais (incluindo

custos de estoque de peças de reposição, custos de gerenciamento, custos de espera causados por paradas de produção etc.) e melhorar a competitividade das empresas.

Segundo AL-NAJJAR & ALSYOUF (2003) e DUFFUAA & RAOUF (2015), custos excessivos decorrentes de peças sobressalentes caracterizam um dos principais custos indiretos de falhas, ou substituições não planejadas, e são resultantes de deficiências de desempenho de manutenção, como discutido em AL-NAJJAR (2000). Conforme os autores, a importância desses custos pode diferir entre as empresas. No entanto, todos devem ser considerados ao avaliar o papel da manutenção, pois representam a maioria das perdas econômicas potenciais que uma empresa de manufatura pode encontrar e pode ser recuperada pela implementação de uma política de manutenção mais eficiente.

No entanto, a gestão de peças sobressalentes tem particularidades próprias, como a imprevisibilidade da demanda, uma complexa variedade, o ciclo de vida mais longo das peças de reposição do que o produto final, etc. Essas questões causam certos problemas no processo de gerenciamento de peças de reposição, por exemplo, a baixa precisão da previsão de demanda de peças de reposição, o descasamento de variedade e quantidade entre o estoque e a demanda, entre outros. Esses problemas tornam-se mais proeminentes para as peças de reposição de alto valor, mas menos usadas, como para empresas de energia, companhias aéreas e fabricantes de navios (LI et al., 2016).

Nesse contexto, muitos estudos têm sido realizados para buscar uma maneira eficaz de reduzir o nível de estoque de peças de reposição, melhorando a precisão de previsão. GHAOBBAR & FRIEND (2003) aplicaram 13 tipos de métodos de previsão para melhorar a precisão na previsão da demanda de peças de reposição para aeronaves. Com o desenvolvimento de tecnologias de previsão, métodos mais avançados, propostos por CHEN et al. (2010) e CAO & LI (2014), e baseados em redes neurais, também têm sido introduzidos na previsão de demanda de peças de reposição.

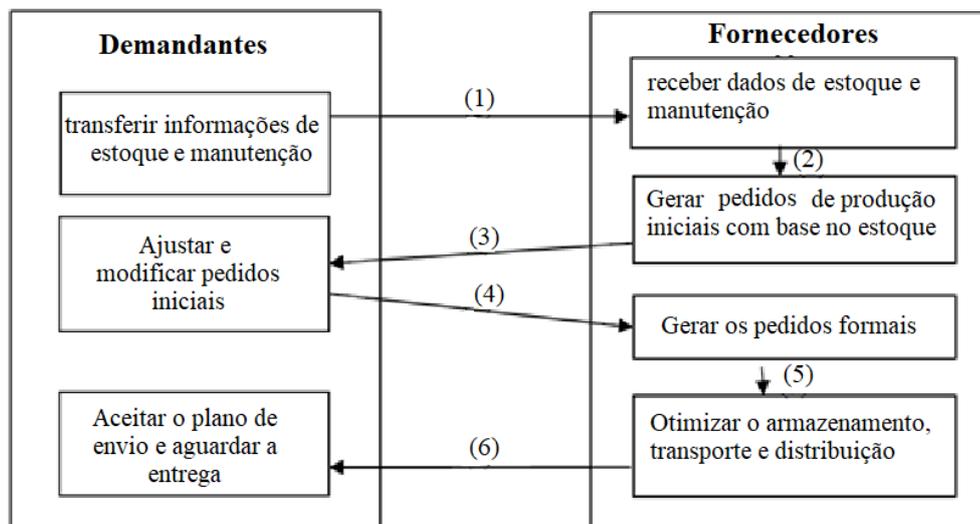
No tocante a previsão de demanda, HELLINGRATH et al. (2015) ressaltam que a minimização das paralisações dos sistemas mantidos, sem depender de altos volumes de estoque de peças de reposição, só pode ser alcançada com uma previsão precisa de falhas do sistema em combinação com uma coordenação eficiente com o gerenciamento de sobressalentes. HELLINGRATH & CORDES (2014) alegam que devido ao padrão esporádico de quebras, a aplicação de métodos clássicos de previsão resulta em previsões de demanda de peças de reposição insatisfatórias. Uma maneira de melhorar a precisão da previsão é o uso de Sistemas Inteligentes de Manutenção (SIM). Os SIM empregam sensores para monitorar a condição dos componentes da máquina, a fim de identificar seu status de degradação e

probabilidade de quebra (ESPÍNDOLA et al. 2012). Nesse contexto, HELLINGRATH et al. (2015) desenvolveram um modelo que integra informações coletadas por SIM embarcados com os métodos de planejamento e coordenação aplicados em processos de gerenciamento de sobressalentes.

Além das tecnologias de previsão, estudos sobre o compartilhamento de informações sobre gerenciamento de peças de reposição também estão aumentando (LI et al.,2016). Segundo os autores, em pesquisas anteriores, o fluxo de informações é considerado como a principal força motriz das operações de gerenciamento da rede da cadeia de suprimentos. Nesse sentido, LI et al. (2016) e COHEN et al., (2006) evidenciam que o compartilhamento de informações entre fornecedores de peças de reposição e os demandantes, como uma parte importante do gerenciamento do fluxo de informações, pode reduzir custos de transação, melhorando a velocidade de resposta da rede da cadeia.

Na gestão tradicional de peças de reposição de manutenção, o lado da demanda e de fornecedores só se comunicam através dos pedidos, não compartilhando qualquer informação, ou seja, completamente independentes uns dos outros. Utilizando os modelos dinâmicos de compartilhamento de informações entre fornecedores e demandantes proposto pelos autores, as informações fluirão conforme Figura 15. Esse compartilhamento pode ser através de indicadores de desempenho de peças sobressalentes, tais como a taxa média de níveis de estoque e a taxa de mudança de estoque, como propõem LI et al. (2016).

Figura 15 – Fluxo de Informações utilizando modelos de compartilhamento de informações entre demandantes e fornecedores



Fonte: Adaptado de LI et al. (2016)

Além dos modelos apresentados, KADER et al. (2014) propõem estudos referentes a estratégias de manutenção combinadas com planos de produção e gerenciamento sustentável de peças sobressalentes. Tratam-se de modelos que visam otimizar a quantidade a ser solicitada para cada tipo de peças de reposição, sob uma demanda aleatória e levando em consideração peças novas e usadas, utilizadas em ações de manutenções preventivas e corretivas. O objetivo geral dos modelos é maximizar a disponibilidade de equipamentos, minimizar os custos de produção e emissões de carbono, considerando a influência do plano de produção na degradação ambiental.

Portanto, o processo de manutenção, necessário para garantir a disponibilidade, a confiabilidade e a segurança dos ativos industriais, pode se tornar um dos principais pilares da manufatura sustentável. Nesse contexto, FRANCIOSI et al. (2017) desenvolveram um modelo periódico de MP que estabeleça o período de manutenção ideal para cada componente do sistema que minimize tanto os custos convencionais, quanto os ambientais gerados pelas intervenções de manutenção. Assim como KADER et al. (2014), esses autores também propõem a escolha ótima de peças de reposição mais sustentáveis entre os novos usados, remanufaturados e reconicionados. Avaliando o correto *trade-off* entre conveniência econômica, confiabilidade de peças de reposição e seu impacto ambiental.

Segundo FRANCIOSI et al. (2017), o custo ambiental é causado pelas emissões de carbono atribuíveis à atividade de manutenção. Tais como emissões liberadas por: transporte de equipe de manutenção; consumo de energia das ferramentas usadas durante intervenções de manutenção; consumo de energia dos armazéns de peças de reposição; produção de peças de reposição; descarte de componente substituído (quando o componente é um “resíduo”, não reutilizável, nem passível de processo de remanufatura); energia “desperdiçada” devido às atividades de manutenção (por exemplo, a planta permanece em funcionamento mas não produz nada, ou o sistema é desligado durante a intervenção de manutenção, mas uma grande quantidade de energia é então necessária para reiniciar).

Diante dos estudos apresentados, observa-se que, de um modo geral, esforços estão sendo direcionados para melhorar a eficácia e eficiência do gerenciamento da cadeia de suprimentos, desde o fornecimento ao estoque de peças de reposição. A literatura apresenta uma variedade de modelos que preveem as necessidades de manutenção com precisão e exatidão, a fim de evitar falhas imprevistas do sistema, garantindo a disponibilidade de peças sobressalentes, de uma maneira sustentável e operando a custos razoáveis.

### 3.4 ORDENS DE SERVIÇO

Segundo MIRSHAWKA E OLMEDO (1994), “o controle é um ponto chave em todos os aspectos da manutenção sendo, pois, um ingrediente fundamental para quem quer alcançar sucesso com o seu programa de TPM”. Ou seja, é necessário ter um bom sistema para colher informações sobre paradas programadas, falhas, interrupções inesperadas, tempos de reparo etc. Além de formar um banco de dados para que a engenharia de manutenção, a gerência de manutenção e os próprios manutentores possam tomar decisões de qualidade para se ter a manutenção eficaz. O nome dado a esse sistema é Ordens de Serviço (OS). Segundo os autores, é o documento mais importante da manutenção.

Além da implementação de *softwares* de gerenciamento integrado, programação diária e serviços de manutenção, o detalhamento das OS é de fundamental importância para o sucesso da manutenção e do negócio (PARRILLA et al., 2002). Dessa forma, segundo ROSA (2006), a geração da ordem de serviço deve conter o detalhamento completo da execução dos serviços solicitados. Esse detalhamento deve incluir os recursos necessários para a execução do serviço, isto é, mão-de-obra, materiais e serviços complementares. O detalhamento deve descrever todas as tarefas pertinentes à execução dos serviços, além da sequência das mesmas. Também fazem parte do detalhamento a duração das tarefas, as prioridades, as datas e as horas previstas para início e término dos serviços (DUFFUAA & RAOUF, 2015).

MIRSHAWKA & OLMEDO (1993) e DUFFUAA & RAOUF (2015) recomendam também que sempre que a manutenção é executada em um ativo, os dados de conclusão da ordem de serviço também devem ser detalhados, arquivados (ou armazenados por um sistema de computador) para consultas posteriores e devem incluir as seguintes informações:

- Identificação do ativo no nível da hierarquia de ativos em que o trabalho foi executado;
- Data, hora e duração do evento de manutenção;
- Uma indicação se a falha ocorreu: sim ou não (não se proativo);
- Quando houver falha, identificação da consequência da falha: oculto, segurança, ambiente, operacional (qualidade do produto, taxa de transferência, atendimento ao cliente, custos operacionais) ou não operacional, envolvendo apenas o custo de reparo somente;
- Custos reais (mão de obra, materiais, serviços, etc);
- Processo de inatividade (perda de produção);

- Tempo de inatividade do ativo (equipamento fora de serviço, mas processo ainda capaz de produzir)

É também a partir da coleta de dados realizada através das OS que é possível ter registros para a implementação dos principais indicadores sugeridos para o planejamento, programação e controle da manutenção (seção 3.2.1). A capacidade de monitorar e gerenciar com sucesso o processo e medir os resultados do processo depende muito da coleta de informações corretas durante a execução do trabalho. Por esse motivo, também é importante ter indicadores de desempenho para a conclusão das OS, que analise (WEBER & THOMAS, 2005):

- A porcentagem de OS entregues com todos os campos de dados preenchidos. Organizações de MCM atingem 95% de conformidade, como mostra a Tabela 5 (WEBER & THOMAS, 2005);
- Não apenas as OS entregues após a realização do serviço, mas também as OS planejadas. A expectativa de classe mundial é que mais de 95% das OS de planejamento devem conter todos os campos de planejamento concluídos (ex. Tarefas de mão-de-obra, duração de tarefas, prioridade de trabalho, exigida por data etc.) (WEBER & THOMAS, 2005);

Com relação a precisão do planejamento do trabalho, é possível utilizar métricas referentes ao planejamento de materiais e tempo de serviço como, por exemplo:

- A porcentagem de OS com acertos na estimativa de Homem.Hora, em relação ao tempo real de execução do trabalho. Estimar uma precisão de mais de 90% seria o nível esperado de desempenho de MCM (WEBER & THOMAS, 2005). Além disso, segundo KARIUKI (2013), o *benchmark* da porcentagem do tempo de uma pessoa de manutenção que é coberta por OS deve ser de 100%;
- A porcentagem de OS planejadas, programadas e atribuídas, em que a execução é atrasada devido à necessidade de materiais (peças de reposição) em relação ao período de tempo especificado. A expectativa de MCM é que menos de 2% do trabalho atribuído tenha uma defasagem por causa de material (devido ao planejamento). Observação: isso pressupõe que o trabalho não deveria ter sido programado se os materiais não estivessem disponíveis. Portanto, o problema é que a OS não contabilizou todos os materiais necessários (WEBER & THOMAS, 2005);
- A porcentagem de OS concluídas durante o período planejado. A MCM recomenda mais de 90% de cumprimento conforme o cronograma durante a execução (WEBER & THOMAS, 2005);

- A porcentagem de OS atribuídas com o *status* “Atraso”, em relação ao período especificado, devido à indisponibilidade de mão de obra, equipamento, espaço ou serviços. Esse número não deveria exceder a faixa de 3 a 5% (WEBER & THOMAS, 2005).

O acompanhamento e fechamento de OS concluídas é essencial para o sucesso da manutenção. Um indicador chave de desempenho para esse acompanhamento é:

- A porcentagem de OS fechadas no prazo máximo de 3 dias, durante o período de tempo especificado. A expectativa é que mais de 95% de todas as OS concluídas sejam revisadas e fechadas dentro de 3 dias (WEBER & THOMAS, 2005).

### 3.5 MANUTENÇÃO PREVENTIVA

A MP, em suas classificações como sistemática, assistemática e detectiva, como definido no Capítulo 2, é encarada não só como tipo de manutenção, mas também como fator de sucesso na gestão da manutenção (WIREMAN, 1998). Como a tecnologia avançou, várias estratégias de MP (incluindo manutenção baseada em condições, MPRED, manutenção remota, manutenção inteligente, etc.) evoluíram. Portanto, os principais desafios enfrentados pelas organizações hoje são escolher as estratégias mais eficientes e eficazes para melhorar continuamente as capacidades operacionais, reduzir os custos de manutenção e alcançar a competitividade na indústria em questão. Portanto, além de formular políticas e estratégias de manutenção para a manutenção de ativos, é importante avaliar sua eficiência e eficácia (KUMAR et al. 2013).

De modo geral, o propósito de medir o desempenho da MP é ajudar a determinar ações futuras e melhorar o desempenho com base em dados passados. Se uma organização não selecionar as métricas apropriadas para medir o desempenho, os resultados poderão ser enganosos (KUMAR et al. 2013). Portanto, é imperativo investigar as deficiências dos sistemas de MP, especialmente aqueles baseados em medidas financeiras (KUMAR et al. 2013). Nesse contexto, algumas métricas capazes de medir o nível de eficácia da MP foram extraídas da plataforma SMRP, mencionada na seção 3.2.1, e estão mostradas a seguir (SMRP, 2011):

- **Paradas de equipamento causadas por falhas não previstas:**

$$\frac{\text{Horas paradas por falhas não previstas de equipamentos}}{\text{Total de horas paradas}}$$

Esse é um indicador da eficácia do acompanhamento preditivo e do acerto do plano de MP da empresa. Quanto maior o seu valor, menor o acerto, ou seja, maior o número de horas paradas por falhas não previstas. Atualmente a grande virtude da manutenção não é reparar os equipamentos de modo rápido, mas prever e evitar as falhas dos equipamentos, instalações.

- **Total de HH gastos em reparos de emergência:**

$$\frac{\text{Homens Hora gastos em reparos de emergência}}{\text{Total de Homens Hora aplicados}}$$

Esse indicador é outra maneira de avaliar o acerto da política de preventiva e preditiva da manutenção. Reparos em emergência são definitivamente indesejáveis. Quanto menor esse indicador, maior deverá ser a confiabilidade da instalação.

- **Total horas paradas por intervenção da Preventiva:**

$$\frac{\text{Horas Paradas por Intervenção da Preventiva}}{\text{Total de Horas Paradas}}$$

Este indicador permite uma avaliação do quanto o programa de MP influi nas horas paradas de equipamentos na planta. Pode ser avaliado em função do total de horas paradas ou relacionado, também, com interferências ou perdas na produção pela necessidade de intervenção para cumprimento do plano de preventiva. É preciso ter em mente que se o plano de preventiva influi no processo produtivo, faz-se necessário mudar a forma de atuação com a introdução de técnicas preditivas que permitam o acompanhamento sem retirar o equipamento de operação.

- **Cumprimento dos planos de MP e Preditiva:**

$$\frac{\text{Tarefas realizadas no programa de MP/MPred}}{\text{Tarefas programadas no programa de MP/Pred}}$$

O valor desejável é 100%. Valores menores permitirão analisar as causas do não cumprimento que passa entre outras coisas pela falta de comprometimento com o plano da própria manutenção; não liberação pela produção; excesso de manutenção corretiva absorvendo a mão de obra disponível, etc.

- **Custo de MP (%):**

$$\frac{\text{Custos de Manutenção Preventiva} \times 100\%}{\text{Total dos custos de manutenção}}$$

O objetivo desta métrica é quantificar o impacto financeiro do trabalho realizado como tarefas de MP. A tendência do percentual de custos de MP pode fornecer um *feedback* para avaliar a eficácia das atividades proativas em comparação com a tendência da porcentagem de custo de todos os tipos de trabalho de manutenção.

- **Trabalho Proativo (Horas):**

$$\frac{\text{OS de MP, MPred e trabalho corretivo a partir de OS de MP /MPred (Horas)}}{\text{Total de Horas de Trabalho de Manutenção}}$$

O trabalho proativo é o trabalho de manutenção que é concluído para evitar falhas ou para identificar defeitos que possam levar a falhas. Inclui atividades de MP e preditiva de rotina e tarefas de trabalho identificadas a partir desses defeitos.

- **OS vencidas de MP e MPRED (%):**

$$\frac{(\text{Intervalo de Horas reais da OS} - \text{Intervalo de Horas planejado}) * 100\%}{\text{Intervalo de Horas planejado}}$$

Essa métrica é uma medida do total de todas as OS MP e MPRED ativas (ou seja, em andamento - não fechadas) no sistema não concluídas até a data de vencimento. O objetivo é revisar o *backlog* de OS de MP e MPRED e desenvolver planos para resolver as tarefas atrasadas dentro de prazos razoáveis.

- **Conformidade da MP e MPRED**

$$\frac{\text{OS de MP e MPred concluídas até o vencimento}}{\text{OS de MP e MPred vencidas}}$$

A métrica é uma revisão das OS de MP e MPRED concluídas, em que a avaliação é em relação a critérios predefinidos para executar e concluir o trabalho. Essa métrica resume a execução das OS de MP e MPRED e a conformidade com a conclusão.

Em resumo, a superioridade na manutenção é principalmente caracterizada por altos níveis de MP. “Nas melhores instalações”, pelo menos 80% de todas as tarefas de manutenção são pré-planejadas com um dia ou mais de antecedência; assim, pode ser definido com

propriedade os materiais, habilidades, ferramentas e peças corretas a serem utilizadas nos serviços KUMAR et al. (2013).

A seguir, na Tabela 7, são apresentados alguns valores de *benchmarking* para alguns dos indicadores de MP apresentados nesta seção, exibidos por XAVIER (2017) e KARIUKU (2013).

Tabela 7 – Valores de *Benchmarking* para indicadores de MP

<b>Indicadores</b>	<b><i>Benchmarking</i></b>
Cumprimento da MP	100%
Percentual de trabalho planejado na Manutenção	>90%
Horas de MP +MPRED / Total de Horas	>80%
Horas de Corretiva (não planejada) / Total de Horas	<10%
Porcentagem de tempo de pessoal de manutenção que é coberto por uma ordem de serviço	100%
Porcentagem de OS que são geradas por inspeções de MP e que é planejada	90%
Percentual de serviços de MP/Todos os serviços	30%
Horas em que cada equipamento está disponível para execução em total capacidade / total de horas durante um certo período	>95%
Total de horas extras de manutenção / total de horas regulares de manutenção	<5%
Custo de MP/Custo Total de Manutenção	15% - 18%
Custo de MPRED / Custo Total de Manutenção	10% - 12%

Fonte: Adaptado de XAVIER (2017) e KARIUKU (2013)

Entretanto, segundo KUMAR et al. (2013), se os indicadores da manutenção da empresa estão muito inferiores ao de classe mundial, estabelecer *benchmarks* de classe mundial não é uma boa escolha. É necessário que a gerencia de manutenção defina valores de referência que designem o desempenho aceitável. Os valores referenciais dependerão sempre de convenções ou dos tipos de negócios e do *ranking* de indicadores em cada setor. De um modo geral, é importante que as medidas de desempenho nos *benchmarks* sejam significativas. Para KUMAR et al. (2013), os *benchmarks* podem ser uma meta que os processos devem focar e visar continuamente, ou um limite que esses processos não devem exceder ou cair abaixo, ou seja, um limite máximo ou mínimo.

### 3.6 PROGRAMAS DE TREINAMENTO

A competência dos recursos humanos no departamento de manutenção é considerada um fator importante em um programa de manutenção bem-sucedido (NAKAJIMA, 1988; CHOLASUKE et al., 2004; KELLY, 2006). A competência pode ser descrita como uma combinação de conhecimentos, habilidades, disposição, interesse e características pessoais. Portanto, recursos educacionais, que podem incluir consultoria técnica, bem como treinamento, devem estar disponíveis e acessíveis aos funcionários (TSANG, 2002 e NAKAJIMA, 1988). O treinamento não deve se limitar à transferência de habilidades técnicas e conhecimentos necessários para o desempenho ideal da tarefa. Deve também abranger questões genéricas, como os imperativos de negócios peculiares à organização, técnicas de solução de problemas e dinâmicas de equipe (TSANG, 2002 e NAKAJIMA, 1988).

RIIS (1992) salienta que muitas funções industriais estão inter-relacionadas de uma maneira bastante complexa, em contraste com a estrutura organizacional tradicional, fortemente hierárquica. Como consequência, o autor, baseado em NAKAJIMA (1988), afirma que não é mais interessante, por meio de uma simples decomposição de metas, definir metas exclusivas para um funcionário. Mas sim, é necessária uma disseminação da missão e da estratégia corporativa para todos os funcionários, de modo que eles possam transformá-las em diretrizes para seu próprio trabalho. Sendo, portanto, um pré-requisito para criar o sentimento de propriedade e compromisso entre os funcionários.

Nesse contexto, o pilar do TPM: Treinamento e Educação prima pela aplicação de treinamentos técnicos e comportamentais para desenvolvimento das equipes, principalmente nos quesitos liderança, flexibilidade e autonomia. Já o pilar da Manutenção Autônoma, trata especificamente do treinamento teórico e prático que devem ser recebidos pelos operadores, focando-os no espírito de trabalho em equipe para a melhoria contínua das rotinas de produção e manutenção (LIMA et al., 2010). Cabe ressaltar, que na metodologia TPM, prima-se preferencialmente pelo treinamento realizado no próprio ambiente de trabalho (*on the job training*) onde o trabalhador que detém o conhecimento repassá-lo aos demais.

O TPM propõe também que os operadores devem receber o treinamento pelos membros da equipe de manutenção. De forma que, os operadores obtenham conhecimentos mais profundos sobre seus equipamentos tais como instruções básicas sobre lubrificação, pneumática, hidráulica, eletricidade, etc. (PALMEIRA, 2001). Nesse sentido, SHIROSE (1994) destaca que:

O que segue é um modo eficiente de transferir estes conhecimentos. A formação básica é fornecida primeiramente aos líderes das equipes de operadores, que em continuidade vão passando estes conhecimentos ponto a ponto (um cada vez) aos membros das equipes, durante um longo período. Os membros das equipes aplicam cada novo ponto, uma vez que tenham aprendido, realizando inspeções centradas sobre novos problemas a tratar exclusivamente. Aprendem profundamente sobre um só subsistema da cada vez (por exemplo, sobre o sistema hidráulico), antes de atacar outro assunto (tal como o sistema elétrico). As equipes aprendem também a desenvolver e empregar seus próprios controles visuais para tornar mais fáceis e livres de erros os procedimentos e inspeção e manutenção.

Deve ser elaborado, portanto, um levantamento completo de todas as habilidades e competências a serem adquiridas por cada membro da equipe de operação/manutenção. Para ter o controle de capacitação de uma equipe, a empresa pode usar uma matriz de treinamento ou de competências como mostrado na Figura 16. A partir dessa matriz, o gestor determina quais treinamentos e cursos que cada funcionário deve fazer. Essa ferramenta é importante para fins de organização e principalmente planejamento (SANTOS, 2009).

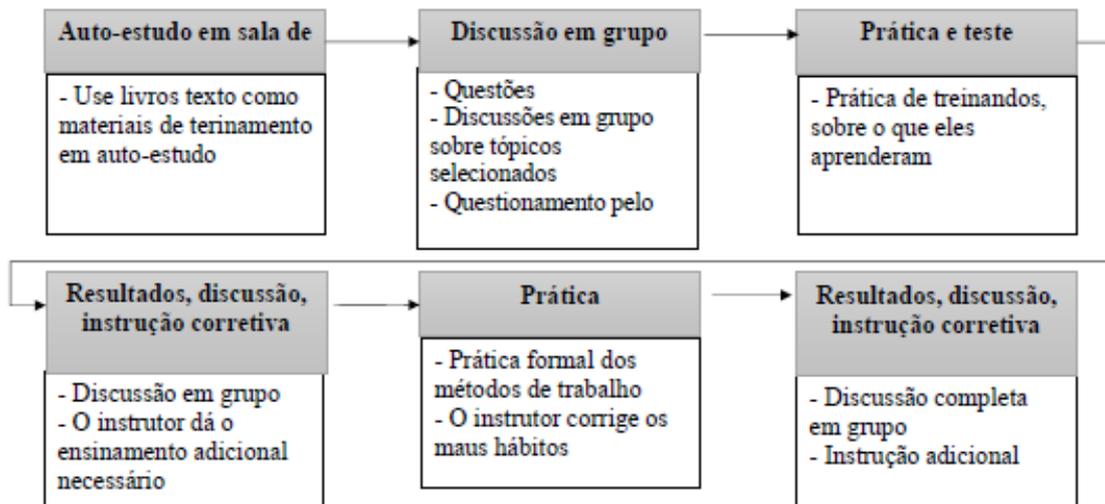
Figura 16 – Matriz de treinamento de funcionários

Matriz de treinamento para Eletricistas		X	X		X	X	X	X
Manutenção Gerente: FUNCIONÁRIO 0		Procedimentos de segurança	Análise de temperatura: Termografia	Curso de inversores de frequência	Curso de CLP	Curso de Programação e ajuste de trajetória de robôs	Criação e melhoria de procedimentos preventivos	CURSO DE TRABALHO EM ALTURA
Legenda: NC - Não conhece      E - Ensina CT - Conhece a Teoria PD - Pratica com dispersão PS - Pratica com segurança								
	Nome	2	3	4	5	6	7	8
1	FUNCIONÁRIO 1	PS	NC	NC	NC	NC	E	NC
2	FUNCIONÁRIO 2	PS	NC	CT	NC	NC	PD	NC
3	FUNCIONÁRIO 3	PS	PS	CT	CT	NC	PS	NC
4	FUNCIONÁRIO 4	PS	PS	NC	CT	NC	E	NC

Fonte: Adaptado de SANTOS (2009)

MIRSHAWKA & OLMEDO (1993) enfatizam que além de instrutores internos é importante mesclar o treinamento com elementos externos a empresa também. Pois, para os autores, a busca externa é frutífera à medida que contribui com formas diferenciadas de resolver problemas, além de propiciar a discussão de experiências mutuas. Além disso, os autores recomendam que os treinamentos sempre devem conter uma parte teórica seguida de tarefas práticas e nunca o contrário, como mostra a Figura 17.

Figura 17 – Desenvolvimento de habilidades



Fonte: SANTOS (2009)

Ainda segundo os autores, a falta de apoio (planejamento, programação, materiais, supervisão) tem um efeito desmotivador sobre os trabalhadores. E conseqüentemente, podem haver interrupções de serviços, atrasos, tempo ocioso e questionamento do estado das coisas. E muitas vezes isso é provocado pela falta de competência do supervisores e planejadores. Portanto, é importante que treinamentos, através de cursos de atualização que incluam palestras sobre aspectos específicos, sejam dados para planejadores, programadores e supervisores, motivando, dessa forma, os manutentores (HAROUN & DUFFUAA, 2009).

Em resumo, segundo HAROUN & DUFFUAA (2009), a organização deve ter um programa de treinamento bem definido, que contenha as seguintes diretrizes:

- Avaliar o desempenho atual do pessoal;
- Avaliar a análise das necessidades de treinamento;
- Projetar o programa de treinamento;
- Implementar o programa; e
- Avaliar a eficácia do programa

Segundo KUMAR et al. (2013), poucas organizações medem a excelência de seu fator humano, nem incluem esse fator em sua avaliação do desempenho da função de manutenção. Conhecer a experiência do pessoal, educação, treinamento e habilidades é essencial para medir adequadamente o resultado do trabalho realizado. A seguir alguns indicadores relacionados à competência humana para as operações de manutenção, relacionada ao grau de conhecimento técnico e experiência, necessários ao planejamento, organização e execução das atividades de manutenção (MENDES, 2002, apud ROSA, 2006):

- ✓ Taxa de Competência: relação entre o estado atual da competência e as necessidades de treinamento para a manutenção e pode ser medida pelas horas de treinamento realizadas em relação às horas relacionadas com as necessidades;
- ✓ Plano de Treinamento: estabelecido pelas necessidades de treinamento (competência a ser adquirida) e medido através do cumprimento do mesmo em relação aos prazos;
- ✓ Taxa de Rotatividade: diz respeito ao percentual de recursos humanos substituídos nas equipes de manutenção, durante um determinado período.

ROSA (2006) ainda apresenta os seguintes indicadores associados ao desenvolvimento e satisfação dos funcionários:

- ✓ Funcionários que completaram um plano de desenvolvimento pessoal;
- ✓ Horas de treinamento por funcionário por ano.
- ✓ Avaliação da satisfação com relação às questões de políticas salariais, chefes, superior imediato, condições de trabalho, horas de treinamento etc.
- ✓ Absenteísmo
- ✓ Número de reivindicações de funcionários
- ✓ Número de acidentes de trabalho

### 3.7 RELATÓRIOS GERENCIAIS

Os departamentos de manutenção devem ter um sistema de relatórios regular. A maioria dos departamentos de manutenção tem o que é chamado de relatório de manutenção mensal. O conteúdo de tal relatório deve refletir o *status* da manutenção e incluir tipicamente o seguinte (DUFFUAA & RAOUF, 2015):

1. Um resumo das principais realizações e problemas;

2. Resumo do trabalho de manutenção realizado: OS realizadas em termos de número e HH e deve ser apresentado de preferência em forma tabular ou gráfica e comparado com os valores comparáveis dos últimos três meses para mostrar as tendências;
3. Custos de manutenção listados por centros de custo ou equipamentos principais e comparados com os últimos três meses para identificar tendências;
4. Relatórios de *backlog* em termos de HH, apresentados em um gráfico ou tabela e comparados com os números dos últimos três meses. Além disso, o *backlog* deve ser classificado de acordo com as causas;
5. Relatórios de inspeção de MP, listando todas as OS de MP iniciadas, bem como deve incluir o trabalho de MP atrasado;
6. Tempo de inatividade dos equipamentos principais;
7. Porcentagem de manutenção planejada alterada para o *status* não programado;
8. Relatório de trabalho em aberto. O status semanal de todas as OS abertas;
9. Relatórios de eficiência comparando as horas estimadas *versus* as reais;
10. Relatórios de suprimento: uma breve descrição do consumo e custo de materiais e peças de reposição;
11. Orçamento de manutenção mensal e variação;
12. O relatório mensal de manutenção deve ser submetido ao alto executivo responsável diretamente pela manutenção, por exemplo, um diretor de manutenção;
13. O alto executivo, por exemplo, diretor de manutenção, deve fornecer *feedback* sobre os relatórios. Sugere-se que o *feedback* deve ser na forma de uma reunião com todos os gerentes de manutenção para discutir as características relevantes dos relatórios e recomendar possíveis ações de melhoria, se necessário.

Esses relatórios apresentados acima ajudam a gestão na tomada de ações para melhorar o estado do processo de manutenção. E um sistema informatizado de gestão da manutenção facilita a preparação desses relatórios. Pois, como afirma MIRSHAWKA & OLMEDO (1993), a geração desses relatórios é trabalhosa e consome muito tempo quando produzida manualmente.

De uma forma geral, os relatórios devem ser baseados em dados reais e devem ser apresentados em formas resumidas e gráficas. Indicadores estatísticos e análises de tendências devem ser parte integrante de tais relatórios. O seguinte princípio geral pode ser usado para avaliar a qualidade desses relatórios (DUFFUAA & RAOUF, 2015):

1. Devem ser concisos e baseados em dados reais. Valores de custo padrão e orçamentos devem ser usados para formar referências básicas;
2. Alguns relatórios periódicos devem ser relatados em uma forma gráfica e devem ser comparados com períodos anteriores para mostrar tendências;
3. O Sistema informatizado da manutenção, quando houver, deve ser capaz de fornecer a maioria desses relatórios;
4. Devem ser preparados em estreita coordenação com os departamentos envolvidos, que também devem fornecer interpretação do conteúdo dos relatórios;
5. O gerenciamento de manutenção deve fornecer *feedback* sobre os relatórios e ações devem ser tomadas para corrigir qualquer contratempo.

Para ter os dados corretos para o trabalho, custo e controle de condição da fábrica, é essencial ter meios precisos de coleta de dados e registros de manutenção. Segundo MIRSHAWKA & OLMEDO (1993), as OS são seguramente os documentos que podem gerar muitos relatórios e informações. Portanto, a partir das OS, a gerencia de manutenção deve desenvolver e instalar um sistema de controle, que consista de:

1. Cartão de tempo diário ou sistema automatizado para a coleta de dados sobre o tempo, contendo:
  - Horas de atraso identificadas pelo código de demora;
  - Número total de horas dispendidas para cumprir a OS;
  - Número das OS;
  - Nome e número do operário (do cartão de ponto);
2. Relatório semanal sobre a produtividade da manutenção, contendo:
  - Horas produtivas (retiradas das fichas de tempo);
  - Horas de atraso (retiradas das fichas de tempo);
  - Horas ganhas (padrões ou estimativas obtidas a partir das OS);
  - Desempenho em porcentagem;
  - Atraso (ou utilização em porcentagem);
  - Atendimento planejado (porcentagem de todo o trabalho planejado);
  - Custo por hora padrão;
  - *Backlog* (sem semanas, por mantenedor).

O arquivo histórico dos registros dos equipamentos desempenha um papel crítico na eficácia e eficiência do órgão de manutenção (CUNHA, 2007). Usualmente, os registros de equipamentos são agrupados sob quatro classificações: serviços de manutenção, custos de

manutenção, inventário e arquivos. Na categoria serviços de manutenção, é necessário registrar o seguinte (DUFFUAA & RAOUF, 2015):

1. Especificações do equipamento e localização;
2. Inspeções, reparos, manutenção e ajustes realizados, avarias e falhas, e suas causas e as ações corretivas realizadas;
3. Trabalhos realizados no equipamento, componentes reparados ou substituídos, condições de desgaste, erosão, corrosão, etc;
4. Medições ou leituras realizadas, resultados de testes e inspeções;
5. Tempo de falha e tempo perdido para realizar os reparos.

A categoria dos custos de manutenção contém perfis históricos e acumulação de mão-de-obra e materiais por itens. Usualmente, as informações do inventário são fornecidas por almoxarifados e departamentos de contabilidade. A categoria do inventário contém informações tais como número de patrimônio, tamanho e tipo, custo de compra, data de fabricação ou aquisição, fabricante. A categoria dos arquivos inclui manuais de serviço e operação, garantias, desenhos, e assim por diante (CUNHA, 2007).

Registros dos equipamentos são úteis na procura de novos equipamentos ou itens para determinar tendências de desempenho operativo, diagnosticar falhas, tomada de decisão entre substituições ou modificações, investigação de ocorrências, identificação de áreas de interesse, realização de estudos de confiabilidade e manutenibilidade, e condução de estudos de projeto e custo de ciclo de vida (CUNHA, 2007). Existem muitos sistemas para gravar e armazenar essas informações, podendo ser gravado manualmente ou usando um computador. O ponto mais importante é que as informações devem ser completas e registradas de maneira organizada para acesso e uso futuros.

É essencial também o estabelecimento de modelos padronizados para a apropriação, medição, análise e controle dos custos, visando otimizá-los. A ferramenta que centraliza essas informações é o relatório de custos, que deve ser emitido mensalmente. Após a realização dos serviços de manutenção deve ser feita, portanto, a apropriação necessária para a apuração do custo do serviço. Essa apropriação é feita através dos relatórios de OS, uma vez que quase todas as informações sobre custos estão disponíveis nas OS (DUFFUAA & RAOUF, 2015). Segundo os autores, os principais custos de manutenção consistem no seguinte:

1. Custo de manutenção direta que é o custo de recursos de mão-de-obra, peças sobressalentes, material, equipamento e ferramentas;
2. Custo de desligamento da operação devido a falha;

3. Custo da qualidade devido ao produto estar fora da especificação, como resultado da incapacidade da máquina;
4. Custo de redundância devido a *backups* de equipamentos;
5. Custo de deterioração do equipamento devido à falta de manutenção adequada;
6. Custo de manutenção excessiva.

A classificação dos custos na apropriação em produtos, serviços ou processos, baseia-se na seguinte consideração (DUFFUAA & RAOUF, 2015):

- Custos diretos: relacionados aos produtos/serviços através de medidas diretas de consumo;
- Custos indiretos: onde é necessária a utilização de estimativas arbitrárias para alocá-los ao objeto de custo (critérios de rateio)
- Custo variável: altera-se proporcionalmente ao volume total produzido;
- Custo fixo: mantém-se constante independentemente do volume total produzido.

Dentre os métodos de custeio podem-se destacar os seguintes

➤ Método do Custo-Padrão:

Segundo PADOVEZE (1996), o custo-padrão é uma técnica para avaliar e substituir a utilização do custo real. Neste método são estabelecidos padrões para controle e acompanhamento dos materiais (especificação, quantidade, preço, taxa de aproveitamento, perdas naturais), da mão-de-obra (tempo de execução de cada etapa, período médio de tempo improdutivo, taxa horária de cada componente da equipe) e dos custos indiretos. Com isso, têm-se padrões pré-estabelecidos no processo para comparação com o realizado, analisando-se as condições operacionais de eficiência.

➤ Método dos Centros de Custos

É o método de custeio no qual são estabelecidas unidades de trabalho homogêneas pelas quais os custos totais do período são atribuídos para posterior cálculo do custo dos produtos/serviços. Neste método, um centro de custo pode estar subdividido em vários centros de custos (FIGUEIREDO, 1996), ou seja, um departamento pode pertencer a um setor mais abrangente. Segundo BORNIA (2002) a classificação dos centros de custos pode ser feita, de acordo com a função que desempenham, em: centros produtivos (contribuem diretamente para a produção de um item ou serviço) e centros auxiliares (executam atividades indiretas de auxílio para os outros centros de custos, não estando diretamente relacionados a produção de um bem ou serviço).

Segundo BORNIA (1995), no método dos centros de custos existem algumas restrições na determinação do custo dos produtos e na identificação das perdas, pois o método não trabalha com atividades. Dessa forma, fica difícil a diferenciação entre custos e perdas nos vários centros de custos, o que dificulta o uso do método no aperfeiçoamento constante do processo produtivo.

➤ Método do Custeio Baseado em Atividades (*Activity-Based Costing* - ABC)

Este método é aplicável tanto no custeio de produtos/serviços quanto na gestão de custos para tomada de decisões. Segundo CHING (1995), o objetivo do método ABC é permitir uma avaliação das atividades desenvolvidas por uma empresa, realizando uma alocação das despesas indiretas aos produtos. Ou seja, tem-se o conceito de que não é o produto que consome recursos, mas sim os recursos que são consumidos pelas atividades e estas, por sua vez, são consumidas pelo produto, permitindo a identificação e potencial eliminação das atividades que não agregam valor.

De acordo com CHING (1995), o método de custeio ABC busca ratear os custos de um negócio dos setores para as atividades realizadas, e de verificar como essas atividades estão relacionadas para a geração de receitas e para o consumo dos recursos. COGAN (1994) cita os seguintes benefícios do uso do método ABC:

- Melhoria das decisões gerenciais, permitindo que se tomem ações para o contínuo aperfeiçoamento das tarefas de redução dos gastos operacionais;
- Facilita a determinação dos custos relevantes e do custo-alvo;
- Maior exatidão no cálculo dos custos de produtos/serviços, clientes, projetos e contratos;
- Apoio para a mensuração da análise do valor econômico agregado;
- Identificação dos produtos, clientes ou canais a serem focalizados.

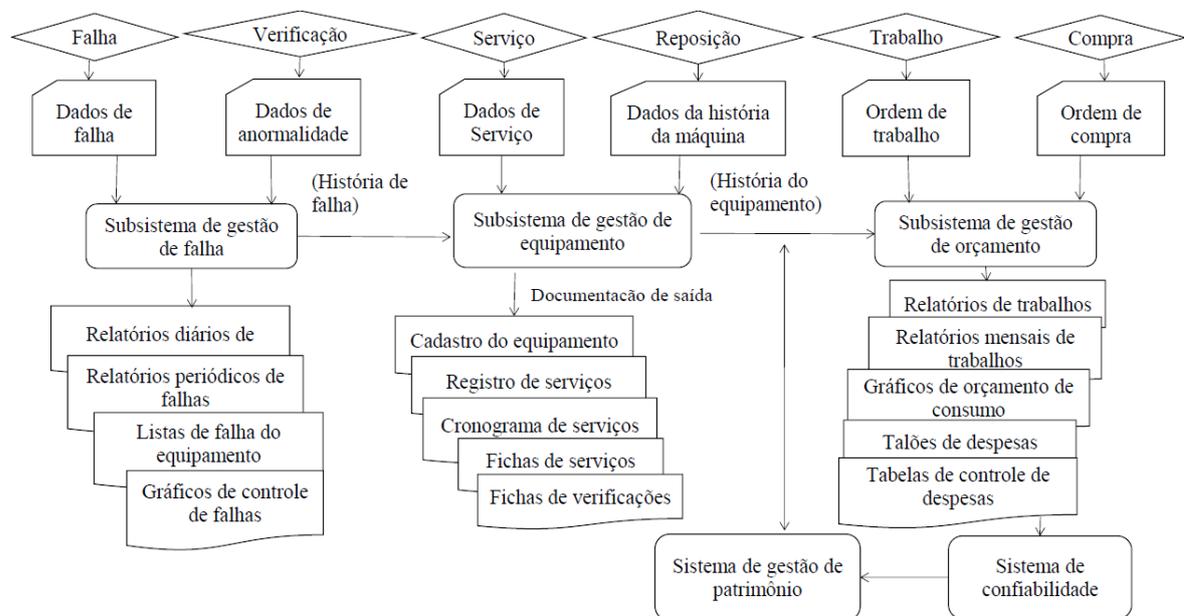
De um modo geral, os relatórios de custos indicarão quais são os programas de redução de custos mais necessários. A redução de custos deve ser um esforço contínuo em qualquer programa de manutenção. As áreas onde os programas de redução de custos podem ser atuantes são as seguintes (DUFFUAA & RAOUF, 2015):

- Considerar o uso de materiais de manutenção alternativos;
- Modificar os procedimentos de inspeção;
- Revisar os procedimentos de manutenção, especialmente fazendo ajustes no tamanho da equipe e nos métodos;
- Redesenhar os procedimentos de manuseio de materiais e o *layout* da oficina.

### 3.8 AUTOMAÇÃO DA MANUTENÇÃO – SISTEMAS COMPUTADORIZADOS DE GESTÃO DA MANUTENÇÃO

A otimização da gestão da manutenção através da utilização dos sistemas computadorizados é amplamente abordada na literatura. WIREMAN (1998) e SWANSON (2001) indicam a relevância do uso de CMMS pela vantagem fornecida pela automatização dos fluxos de informação da manutenção. Permitindo o acesso aos dados históricos de recursos e performance de cada equipamento, além de organizar o planejamento das OS, geração de relatórios gerenciais, entre outros pontos (VIANA, 2013). A Figura 18 ilustra um exemplo de CMMS recomendado pelo TPM.

Figura 18 – Exemplo de CMMS recomendado pelo TPM



Fonte: SANTOS (2009)

LABIB (2004) expressa que o aumento na quantidade de informações disponíveis e um crescente requisito para ter essas informações à mão e em tempo real para a tomada de decisões indicam a necessidade de ter CMMS para auxiliar o gerenciamento de manutenção. Os dias de sistemas de manutenção com grandes relatórios em lote, onde o foco estava na taxa de transferência de dados, estão sendo substituídos por consultas dinâmicas *on-line*, criadas instantaneamente com respostas em segundos, em vez de dias. VIANA (2002) observa que as finalidades e aplicações de um sistema informatizado para manutenção devem ser as seguintes:

- a) Organizar e padronizar os procedimentos ligados aos serviços de manutenção, tais como: solicitação de serviços, programação de serviços e informações provenientes do banco de dados;
- b) Facilitar a obtenção de informações da manutenção, por exemplo, custo do equipamento, performance, características técnicas, etc.;
- c) Gerenciar a estratégia de manutenção através dos planos preventivos, de forma a garantir que as tarefas planejadas sejam automaticamente emitidas em forma de OS;
- d) Aumentar a produtividade da manutenção através de informações, otimização de mão-de-obra e ou priorização dos serviços;
- e) Controlar o estado dos equipamentos;
- f) Fornecer relatórios de histórico dos equipamentos, bem como de índices consolidados, como *backlog*, índice de corretiva, *MTTR*, etc.

Os sistemas de Planejamento de Recursos Corporativos (*Enterprise Resource Planning - ERP*) são sistemas de informação que integram todos os dados e processos de uma organização em um único sistema. Esses sistemas, também chamados no Brasil de Sistemas Integrados de Gestão Empresarial, não atuam só no planejamento, como também controlam e fornecem suporte a todos os processos operacionais, produtivos, administrativos e comerciais da empresa. De forma que, todas as transações realizadas pela empresa devem ser registradas neles para que as consultas extraídas do sistema possam sempre refletir ao máximo sua realidade operacional (GREGNANIN, 2002).

O sistema permite a integração operacional e gerencial, da maioria das funções desempenhadas na empresa sob um único sistema de computação, permitindo que a informação flua através de todos os seus departamentos. O processo de seleção de um sistema ERP deve ter como principal objetivo encontrar uma solução que melhor se adapte aos requisitos de negócio, necessidades funcionais e capacidade de investimento das empresas, observando sempre que o mercado oferece uma variedade de soluções com as mais diversas características, serviços e preços (GREGNANIN, 2002)

Os sistemas ERP normalmente são formados por módulos contábeis e financeiros, módulos de manufatura, módulos de distribuição e principalmente, módulos integrados, que se propõem a cobrir todas as funções de uma empresa através de um único sistema. O módulo PM (*Plant Maintenance*) deve auxiliar no planejamento, processo e realização de tarefas de manutenção de fábrica; auxiliar no controle dos custos e recursos de manutenção; e fornece informações para facilitar o processo de decisões em relação à manutenção. Segundo GREGNANIN (2002), os componentes fundamentais do módulo PM são:

- Processamento de tarefas não planejadas;
- Gestão de serviços;
- Avisos de manutenção conforme datas ou contadores;
- Planejamento da manutenção;
- Lista de materiais para a manutenção.

O SAP (*Systems Applications and Products*) é um sistema ERP mundialmente consagrado que atende diversas áreas de uma empresa, tais como finanças, recursos humanos, suprimentos, gerenciamento de projetos, manutenção, entre outras. Entre suas principais características estão a robustez, a segurança dos dados e o próprio fato de permitir a integração entre as áreas de negócio das empresas (CARDOSO et al. 2015 e RAMIS, 2015). É no módulo PM-SAP que são cadastrados:

- Todas as bases de equipamentos e catálogos de componentes;
- Locais de instalação;
- Notas de defeitos e falhas, bem como suas causas e ações para correção;
- Estruturas de equipes de trabalhos, com o quantitativo de funcionários e Homens-Hora disponíveis para execução da manutenção;
- Roteiros de manutenção, indicando aos funcionários a rotina de inspeção e manutenção, bem como fazendo uma estimativa de tempo para execução das atividades;
- Parametrização dos planos de MP;
- Geração das ordens e notas de manutenção, entre outras funções.

Entretanto, se apenas supervisores/planejadores de manutenção/operação ficarem encarregados de executar todo o processo relacional aos sistemas de ERP, isto é, planejar, programar, imprimir, encaminhar, verificar e dar baixa em centenas de notas e ordens de manutenção mensalmente, os mesmos podem se sobrecarregar, dedicando boa parte de seu tempo à digitação de documentos, por exemplo. Ou ainda, força que o supervisor esteja fisicamente no escritório para que proceda a transcrição das informações coletadas para os sistemas de ERP. Para MIRSHAWKA & OLMEDO (1993), isso pode levar ao fracasso de uma boa supervisão, tendo em vista que segundo os autores, estima-se que um bom supervisor deve gastar 75% de seu tempo fora do escritório, exercendo atividade direta.

Outro problema associado ao que foi descrito no parágrafo anterior é o que reflete na qualidade dos dados de manutenção uma vez que se os registros no sistema não são feitos por

quem identifica o problema ou por quem executa o serviço, gera ambiguidade e imprecisão. Consequentemente, estudos de confiabilidade ou acompanhamentos preditivos realizados com dados inadequados geram resultados inadequados (CARDOSO et al. 2015 e RAMIS, 2015). Dessa forma, torna-se imprescindível a adoção de ferramentas que auxiliem de forma eficiente a realização dos registros referentes às manutenções e inspeções realizadas e que garantam a confiabilidade das análises que serão realizadas a partir dos mesmos. Nesse contexto é que nasce a necessidade de um sistema que seja eficaz e tenha uma usabilidade adequada para toda a gama de usuários que compõem as equipes de manutenção, de uma forma geral.

Nos trabalhos apresentados por CARDOSO et al. (2015) e RAMIS (2015) são apresentados sistemas de computação móvel, integrado ao sistema de ERP da empresa, que permitam o uso do sistema corporativos a partir do campo, onde o trabalho é executado, seja na área de operação ou de manutenção. Com esse tipo de ferramenta é possível que os operadores e mantenedores, principais atores dos processos de operação e manutenção, possam interagir diretamente com o sistema de informação da organização.

Esses sistemas de mobilidade são baseados em coletores de dados industriais adequados para o uso em campo. Nesses coletores é instalado um *software* especialista que registra os documentos de manutenção, resultados de ensaios de campo, leituras e inspeções da operação, criação e movimentação de equipamentos em campo, entre outras funcionalidades intuitivas. Possuem recursos tais como câmera fotográfica, conectividade WIFI, GPRS e *Bluetooth*, leitor de código de barras e RFID, além de GPS. O conjunto *software* e *hardware* permite agilizar o serviço de campo, coleta de dados precisa, transmissão e sincronismo seguro com o sistema ERP (CARDOSO et al. 2015 e RAMIS, 2015).

Esse tipo de sistema pode ser expandido para a área de suprimentos, nos processos de inventário, inspeção em fábrica, recebimento de materiais e almoxarifados inteligentes, e para a engenharia de construção, na fiscalização de obras. A aquisição de um sistema de mobilidade com funções que transcendem a manutenção e operação clássica representa um enorme ganho de escala para a organização, no sentido de agilizar processos e alinhar pessoas de diferentes áreas (CARDOSO et al. 2015 e RAMIS, 2015).

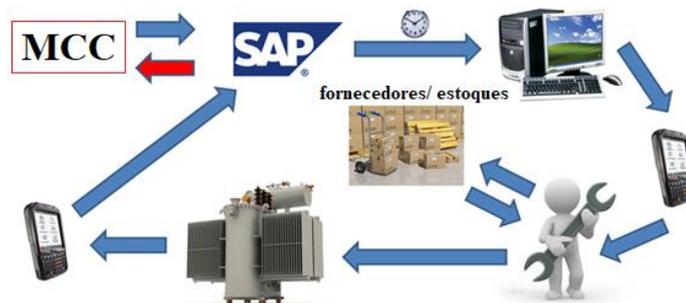
***Como funcionam esses sistemas na prática?***

#### **Para manutenções planejadas:**

O processo se inicia a partir de planos de manutenção, realizados após estudos de Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC) para equipamentos e sistemas, que devem ser

inseridos no SAP-PM ou qualquer outro módulo PM. Alguns dias antes da data planejada para a execução da manutenção uma ordem de manutenção é gerada. O supervisor de manutenção ou de operação filtra as ordens de manutenção que sua equipe deve executar, executa as etapas de planejamento e programação, e as despacha para um determinado coletor de dados. O executor das ordens então realiza a manutenção, registrando tempos de serviço da equipe, valores de medições realizadas, sobressalentes consumidos, fotos e demais informações que julgar pertinentes. Ao final da manutenção o mesmo encerra as ordens de manutenção e sincroniza o dispositivo móvel com o SAP, transmitindo as informações para o banco de dados corporativo. A Figura 19 mostra este ciclo.

Figura 19 – Processo de manutenção planejada utilizando o sistema de computação móvel

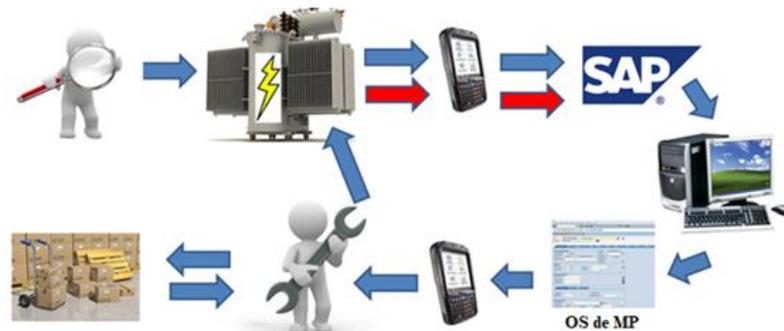


Fonte: Adaptado de RAMIS (2015)

### **Para manutenções não planejadas:**

O processo de manutenção não planejada se assemelha ao processo descrito anteriormente, a não ser em sua origem. O operador ao constatar uma anormalidade em um equipamento durante uma inspeção, abre uma nota de manutenção com o dispositivo móvel. Esta nota é enviada para o SAP e transformada em uma ordem de manutenção. Daí em diante o processo é igual ao da manutenção planejada, como mostra a Figura 20.

Figura 20 – Processo de manutenção não planejada utilizando o sistema de computação móvel



Fonte: Adaptado de RAMIS (2015)

*O que deverá ser realizado para a eficácia desses sistemas na prática?*

- **Realização de apontamento de execução das manutenções de forma diária, a cada atividade realizada:** com o uso do dispositivo móvel, o executor da atividade terá que realizar os registros de execução da manutenção e abrir os registros de defeito e falhas no momento de sua execução. Sem os sistemas móveis, os executores poderiam levar dias para lançar no sistema os dados e informações obtidas nas inspeções e manutenções executadas.
- **Quantificação dos tempos de execução das atividades:** o apontamento de cada atividade exigirá o registro dos respectivos tempos, bem como o quantitativo referente aos recursos necessários para a execução das atividades.
- **Detalhamento no registro dos defeitos detectados durante inspeções/manutenções:** o usuário do sistema carregará no sistema informações extremamente importantes para realização de análise de confiabilidade, dentre elas, informações acerca do componente danificado, o dano ocorrido, a causa e a ação de correção tomada, no caso da execução da ordem de manutenção corretiva.
- **Análise das ordens de manutenção e registros de defeitos:** a equipe de planejamento e programação das gerências de manutenção executarão uma função fundamental para manutenção de uma base de informações e dados adequada que possibilite um processo assertivo de tomada de decisão, já que todas as ordens de manutenção e registros de defeitos serão encerradas apenas por essas equipes.

Considerando que os paradigmas técnicos e comportamentais acima relatados sejam efetivamente atendidos, é possível alcançar o alinhamento dos colaboradores com o planejamento estratégico corporativo e a padronização dos processos de operação e manutenção em campo, além do aumento da confiabilidade e da disponibilidade dos ativos da organização (CARDOSO et al. 2015 e RAMIS, 2015). As vantagens diretas estão resumidas a seguir:

- **Otimização no processo de registro das manutenções:** Com a utilização de um dispositivo móvel, os apontamentos ocorrerão diretamente no sistema e não mais em um formulário. Com isso, a etapa de transcrição dos dados do formulário para o sistema é eliminada.
- **Aumento na confiabilidade dos dados de apontamento:** Como o apontamento ocorre diretamente no sistema, há uma diminuição significativa na possibilidade de ocorrência de erros de digitação, no processo de transcrição do formulário em papel para o sistema de gestão.

- **Melhoria na gestão de recursos humanos e custos relacionados a materiais e serviços:** Em cada ordem de manutenção, o executor faz o apontamento gasto na execução da mesma, além de todos os gastos atrelados à esta atividade. Com isso, todas as atividades de manutenção da empresa serão precificadas, podendo ser avaliadas e acompanhadas de diferentes formas (exemplo: Por área executora e tipo de manutenção), possibilitando ao longo dos anos a construção de uma base comparativa para gestão orçamentária.
- **Melhoria do processo de gestão das manutenções:** Como o apontamento dos registros das inspeções e manutenções são realizados diretamente no aplicativo do dispositivo móvel e o mesmo pode ser sincronizado com uma boa frequência, na grande maioria das vezes, os gestores de manutenção podem acompanhar e interagir com as equipes de uma forma mais próxima, aumentando o nível de conformidade da execução e dos registros das manutenções.
- **Integração do processo de manutenção e operação:** Todo o processo da execução da manutenção é executado através do sistema. Desde a solicitação da manutenção para a área de Operação, passando pelos processos de análise dos impedimentos, aprovação da intervenção pela operação até a sua efetiva execução, todo o fluxo será executado via sistema, garantindo a rastreabilidade do processo, bem como uma gestão efetiva desse processo, principalmente para a área de operação.

## 4 ANÁLISE MULTICRITÉRIO DE APOIO À TOMADA DE DECISÃO NA MANUTENÇÃO

Apresenta-se neste capítulo os conceitos, que serviram como base, no trabalho proposto, para a abordagem da tomada de decisão no âmbito da Manutenção via abordagem multicritério, considerando aspectos relacionados ao tratamento da incerteza e da subjetividade, inerentes às decisões no gerenciamento da manutenção.

### 4.1 FUNDAMENTOS DA TEORIA DA DECISÃO

O processo de tomada de decisão é vastamente definido como a realização de qualquer seleção de alternativas e, devido ao seu amplo campo de abrangência, é reconhecido em várias disciplinas das ciências naturais e sociais. Os primeiros estudos relacionados ao processo de tomada de decisão datam do século XVII e surgiram na França no desenvolvimento de vários métodos de eleição e escolha social (KLIR,1995; GOMES,2004; WINSTON, 2004).

Segundo CHURCHILL (1990), a tomada de decisão dentro de uma organização geralmente apresenta as seguintes características:

- Incertezas sobre os objetivos chaves e sobre as alternativas de ação para o alcance desses objetivos;
- Incertezas sobre os indivíduos a serem envolvidos na tomada de decisão;
- Valores e objetivos conflitantes, bem como diferentes relações de poder entre esses indivíduos;
- Múltiplos critérios, inicialmente não muito claros, a serem considerados na avaliação das alternativas de ação;
- Quantidade significativa de informações necessárias, qualitativas e quantitativas, e que usualmente estão incompletas ou indisponíveis;
- Criatividade e às vezes ineditismo para a geração de soluções.

A indisponibilidade de informações, ou seja, a ausência de evidências avaliáveis para quantificar os valores das variáveis pertinentes ao problema de decisão, pode levar a tomadas de decisão informais, com critérios mal definidos e falta de uma abordagem sistêmica para a resolução de problemas (STEWART, 1992).

Como consequência, decisões subótimas podem potencialmente resultar em perdas significativas de tempo e dinheiro (RASTEGARI et al., 2013). Embora as estimativas dos custos desses impactos sejam escassas, vários autores destacaram o tempo gasto buscando a

informação certa para apoiar tomadas de decisões de manutenção como aproximadamente de 15 a 30% do tempo total do processo (LAMPE et al., 2004; TAYLOR, 2008).

Para evitar essas perdas, uma abordagem sistemática para a tomada de decisões no processo de gestão da manutenção deve estar em vigor. Quanto maior for o grau de estruturação dos problemas a serem definidos, bem como dos objetivos e aspectos relevantes à avaliação, maior será o suporte oferecido pelas ferramentas e métodos capazes de aumentar a racionalidade da decisão (HOLSAPPLE & WHINSTON, 1996; ANDRADE, 1998).

#### 4.2 MÉTODOS DE DECISÃO MULTICRITÉRIO

As técnicas de MCDM se destacam no campo das ferramentas de apoio à tomada de decisão, pela robustez e capacidade de análise de modelos complexos (MACEDO, 2015). Para VINCKE (1992), o apoio dado por essa ferramenta à decisão possibilita melhorias na solução dos problemas, onde muitas vezes os objetivos e opiniões dos envolvidos no processo decisório são contraditórios e devem ser levados em consideração.

O processo de MCDM tem sido amplamente empregado no domínio da manutenção, mas na literatura seu uso se concentra principalmente em tomadas de decisão no sentido de selecionar quais Políticas de Manutenção (Manutenção Corretiva, MP, MPRED, etc.), são adequadas para determinado tipo de equipamento ou processo (AL-NAJJAR & ALSYOUF, 2003; BEVILACQUA & BRAGLIA, 2000; PINTELON AND GELDERS, 1992; SHYJITH et al., 2008; DING & KAMARUDDIN, 2015). Este trabalho se propõe a empregar as técnicas de MCDM para priorizar atividades relacionadas à gestão da manutenção, a partir de critérios pré-estabelecidos, visando atingir as metas da empresa de uma forma sistêmica.

Segundo TRIANTAPHYLLOU (2000) e TRIANTAPHYLLOU et al. (1997), as padronizações dos processos de MCDM podem ser resumidas em três características principais:

1. Determinação das alternativas e dos critérios de decisão;
2. Determinação da importância dos critérios na forma de pesos e avaliação numérica das alternativas de decisão segundo os critérios;
3. Classificação das alternativas na forma de um *ranking* de acordo com a importância estabelecida a cada critério.

As principais metodologias propostas na literatura relacionadas ao processo de MCDM, incluindo aplicações no domínio da manutenção estão listadas abaixo. TRIANTAPHYLLOU (2000) apresenta detalhes sobre os benefícios e desvantagens de cada um dos métodos.

- *Weighted Sum Method* (WSM) (AL-NAJJAR & ALSYOUF, 2003; BEVILACQUA & BRAGLIA, 2000);
- *Analytical Hierarchy Process* (AHP) (AL-NAJJAR & ALSYOUF, 2003; BEVILACQUA & BRAGLIA, 2000; CHEUNG ET AL., 2005; SHYJITH et al., 2008);
- *Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution* (TOPSIS) (AL-NAJJAR & ALSYOUF, 2003; SHYJITH et al., 2008);
- *Boolean Decision Tree* (BDT) (TSANG, 1995);

#### 4.3 A LÓGICA *FUZZY* (DIFUSA) E O TRATAMENTO DA INCERTEZA

Uma desvantagem geral de cada um dos métodos citados na seção anterior é que as várias formas de incerteza que estão normalmente presentes nos processos de tomada de decisão não são levadas em consideração (SADIQ & TEFAMARIAM, 2009). A incerteza está associada à inviabilidade de caracterizar completamente um sistema em função da indisponibilidade da adequada informação quantitativa e qualitativa. Isso se dá tanto pela falta de acurácia nos valores (imprecisão), quanto pela ambiguidade decorrente da associação de vários significados dados a uma mesma informação, além da subjetividade das avaliações dos decisores (LIMA JUNIOR, 2013).

Para lidar com esta limitação, a lógica *Fuzzy*, ou também chamada de lógica difusa, tem sido bastante utilizada em combinação com os métodos de MCDM (BORAN et al., 2009; CELIK et al., 2015; KAHRAMAN et al., 2015; MARDANI et al., 2015). O conceito de lógica *Fuzzy* foi introduzido na década de 60, quando Lotfi Zadeh, professor do Departamento de Engenharia Elétrica e Ciências da Computação da Universidade da Califórnia em Berkeley, trabalhava com problemas de classificação de conjuntos que não tinham fronteiras bem definidas. De uma forma geral, a lógica *Fuzzy* aproxima a precisão característica da matemática à inerente imprecisão do mundo real (ZADEH, 1965).

Em outras palavras, a lógica *Fuzzy* consiste no tratamento matemático de sistemas onde a subjetividade e as características ambíguas das variáveis processadas tornam a lógica clássica de difícil modelagem e aplicação. A modelagem *Fuzzy* “traduz” expressões verbais, vagas, imprecisas e qualitativas, comuns na comunicação humana, em valores numéricos, convertendo a experiência humana em uma forma compreensível pelos computadores. Isso possibilita, então, a utilização da experiência humana dos especialistas como controladores computadorizados (COSTA, 2007)

A área de aplicação da lógica *Fuzzy* é muito variada, encontrando-se exemplos do uso desta metodologia em administração de projetos, formação de preços de produtos, diagnósticos médicos, previsão de vendas, análise de mercado, identificação criminal, orçamento de capital, avaliação de aquisição de empresas, processamento de informações, controle de qualidade e em outros assuntos que envolvem a tomada de decisão multicritério (VON ALTROCK, 1995; JAMSHIDI, 1997; CURY, 1999; KOMAROVA, 2000; GOUDARD, 2001).

Os conjuntos *Fuzzy* são usados, em geral, em combinação com os métodos MCDM por duas razões (MARDANI et al., 2015):

1. Formalizar em uma aproximação quantificada os pesos dos critérios fornecidos pelos tomadores de decisão expressos em variáveis linguísticas;
2. Agregar as decisões individuais dos vários tomadores de decisão em apenas um conjunto de decisão que represente o grupo de decisores.

Ambas as razões são relevantes dentro do contexto de MCDM na manutenção. Pois de um modo geral os decisores apresentam dificuldade em expressar suas avaliações e ponderações através de valores numéricos exatos (valores *crisp*). Entretanto, através de conjuntos *Fuzzy* é possível utilizar expressões linguísticas, tais como baixo, médio ou alto para avaliações em geral. Dessa forma, a lógica difusa é útil para mesclar uma abordagem quantitativa com uma representação qualitativa. Além disso, pode ser necessário agregar conjuntos individuais de decisões em uma representação agrupada, já que os processos de tomada de decisão em manutenção tendem a ser feitos em equipe (AL-NAJJAR & ALSYOUF, 2003).

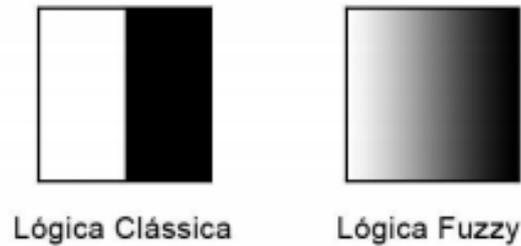
#### **4.3.1 Teoria dos Conjuntos *Fuzzy***

A lógica *Fuzzy* é baseada na Teoria dos Conjuntos *Fuzzy* (*Fuzzy Set Theory*- FST). Esta teoria é uma generalização da Teoria dos Conjuntos Tradicionais, e é utilizada para resolver os contrassensos gerados a partir da classificação “verdadeiro ou falso” da lógica Clássica (ZADEH, 1965).

A diferença básica entre a Teoria Clássica dos Conjuntos e a FST está na definição do “pertencimento” ou “grau de inclusão” de um determinado elemento a um conjunto. De acordo com a Teoria Clássica dos Conjuntos, os conjuntos clássicos (ou conjuntos *crisp*) são definidos como um grupo de elementos finitos, em que cabe a cada elemento o pertencimento total ou o não pertencimento a uma determinada classe. Enquanto que a FST admite um determinado elemento pertencer parcialmente a uma classe, e ainda pertencer a mais de uma classe simultaneamente (ZADEH, 1965).

BOTELHO et al. (2012) ilustra que a lógica *Fuzzy* propõe a não existência de apenas dois níveis, sim-não, verdadeiro-falso, mas um grau intermediário, possibilitando assim vários níveis. Conforme ilustra a Figura 21, a lógica *Fuzzy* indica a não colocação de um limite entre o preto e o branco, como na lógica clássica, mas vários tons de cinza (BOTELHO et al. 2012).

Figura 21 – Comparativo entre a lógica clássica e Fuzzy



Fonte: BOTELHO et al. (2012)

A seguir são apresentadas as principais definições básicas dos conjuntos *Fuzzy* pertinentes ao trabalho.

**Definição 1:**

Seja  $X$  um espaço de pontos cujo elemento genérico é representado por  $x$ , de modo que  $X = \{x\}$ . Um subconjunto *Fuzzy*  $\tilde{A}$  em  $X$  é caracterizado por uma função de pertinência  $f_{\tilde{A}}(x)$  que associa a cada ponto em  $X$  um número real no intervalo  $[0,1]$  de modo que o valor de  $f_{\tilde{A}}(x)$  em  $x$  representa o grau de pertinência de  $x$  em  $\tilde{A}$  (ZADEH, 1965).

$$f_{\tilde{A}}(x): X \rightarrow [0,1]; x \in X \quad (4.1)$$

Em outras palavras, o valor apresentado pela função de pertinência mede o “grau de associação” do elemento ao conjunto, de tal forma que, quanto mais alto, maior a compatibilidade do elemento com o conjunto.

**Definição 2:**

A altura de um conjunto *Fuzzy* é o maior grau de associação atingido por qualquer elemento desse conjunto. Um conjunto difuso  $\tilde{A}$  no universo do discurso  $X$  é chamado normalizado quando o grau de pertinência de  $\tilde{A}$  é igual a 1, conforme mostram as Figuras 22 e 23 (KLIR & YUAN, 1995).

**Definição 3:**

Um conjunto *Fuzzy*  $\tilde{A}$  no universo do discurso  $X$  é convexo se e somente se:

$$f_{\tilde{A}}[\lambda x_1 + (1 - \lambda)x_2] \geq \min[f_{\tilde{A}}(x_1), f_{\tilde{A}}(x_2)] \quad (4.2)$$

Para todo  $x_1, x_2$  em  $X$  e todo  $\lambda \in [0,1]$  (KLIR & YUAN, 1995).

**Definição 4:**

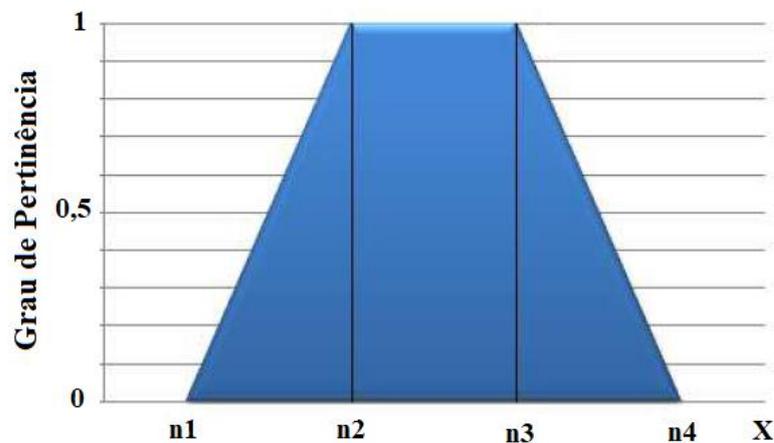
Um número *Fuzzy* é um subconjunto *Fuzzy*, que é ao mesmo tempo convexo e normalizado, no universo de discurso  $X$  (KAUFMANN & GUPTA, 1991).

**Definição 5:**

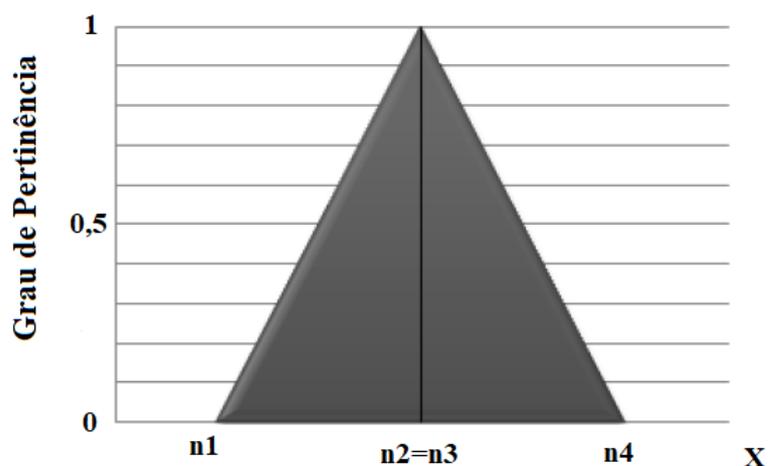
Um número *Fuzzy* trapezoidal, como mostra a Figura 22,  $\tilde{N}$  é definido como uma quádrupla  $\tilde{N} = (n_1; n_2; n_3; n_4)$ . Para dado  $x \in X$ , a função de pertinência de  $x$  em  $\tilde{N}$  é calculada como a equação 4.3 e quando as componentes  $n_2$  e  $n_3$  possuem o mesmo valor,  $\tilde{N}$  é um número *Fuzzy* triangular, Figura 23 (KAUFMANN & GUPTA, 1991).

$$\mu_{\tilde{N}}(x) = \begin{cases} 0, & x < n_1 \\ \frac{x - n_1}{n_2 - n_1}, & n_1 \leq x \leq n_2 \\ 1, & n_2 \leq x \leq n_3 \\ \frac{x - n_4}{n_3 - n_4}, & n_3 \leq x \leq n_4 \\ 0, & x > n_4 \end{cases} \quad (4.3)$$

Figura 22 – Número *Fuzzy* Trapezoidal



Fonte: O Autor.

Figura 23 – Número *Fuzzy* Triangular

Fonte: O Autor.

Pelo princípio da extensão (DUBOIS & PRADE, 1980), a soma e subtração *Fuzzy* de quaisquer dois números *Fuzzy* trapezoidais são também números *Fuzzy* trapezoidais; mas a multiplicação e divisão de quaisquer dois números *Fuzzy* trapezoidais é apenas um número *Fuzzy* trapezoidal aproximado. Dados dois números *Fuzzy* trapezoidais positivos,  $\tilde{A} = (a_1, a_2, a_3, a_4)$  e  $\tilde{U} = (u_1, u_2, u_3, u_4)$ , algumas operações principais entre  $\tilde{A}$  e  $\tilde{U}$  podem ser expressas conforme as equações a seguir:

$$\tilde{A} (+) \tilde{U} = (a_1 + u_1, a_2 + u_2, a_3 + u_3, a_4 + u_4) \quad (4.4)$$

$$\tilde{A} (-) \tilde{U} = (a_1 - u_1, a_2 - u_2, a_3 - u_3, a_4 - u_4) \quad (4.5)$$

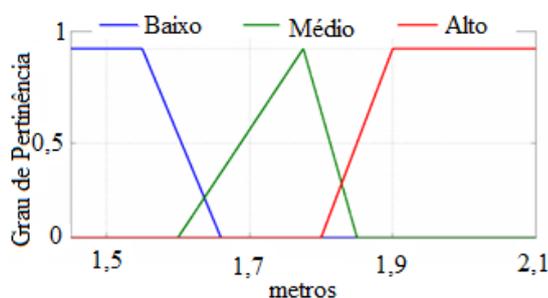
$$\tilde{A} (x) \tilde{U} \cong (a_1 x u_1, a_2 x u_2, a_3 x u_3, a_4 x u_4) \quad (4.6)$$

$$\tilde{A} (/) \tilde{U} \cong (a_1 / u_1, a_2 / u_2, a_3 / u_3, a_4 / u_4) \quad (4.7)$$

### 4.3.2 Variáveis Linguísticas

Conforme ZADEH (1975), variáveis linguísticas são aquelas cujo valor é expresso em termos linguísticos, de natureza subjetiva e representado por funções de pertinência. Uma variável linguística é, portanto, uma variável cujos valores são nomes de conjuntos *Fuzzy*. Por exemplo, o valor da variável linguística “Altura de um indivíduo”, pode ser medida por meio dos termos linguísticos “baixo”, “regular”, “bom” e “ótimo”, como ilustra a Figura 24 Neste caso, os termos linguísticos são definidos por números *Fuzzy* triangulares no universo de discurso  $[0; 2,1]$  (FONTES, 2012).

Figura 24 – Representação dos termos da variável linguística “Altura de um indivíduo” em conjuntos *Fuzzy*



Fonte: Adaptado de FONTES (2012)

As funções de pertinência podem ser definidas a partir de características específicas do problema. Entretanto, normalmente os métodos de modelagem de problemas de decisão utilizam funções de pertinência padrão, tais como triangular ou trapezoidal. (ZIMMERMANN, 1991; YEH & DENG, 2004). Segundo (DELGADO et al., 1998; HERRERA & HERRERA - VIEDMA, 2000), pode-se considerar que as funções de pertinência trapezoidais são adequadas para captar a imprecisão das avaliações linguísticas.

### 4.3.3 Similaridade entre Números *Fuzzy*

O conceito de distância é frequentemente utilizado para calcular o grau de separação entre dois elementos, existindo uma grande variedade de técnicas, tais como distância de Hamming, distância Euclidiana, distância de Minkowski. CHEN (2000) propôs que a distância (similaridade) entre dois números *Fuzzy* pode ser calculada pelo método dos vértices, conforme equação 4.8.

$$d(\tilde{A}, \tilde{N}) = \sqrt{\frac{1}{3} [(a_1 - n_1)^2 + (a_2 - n_2)^2 + (a_3 - n_3)^2]} \quad (4.8)$$

O método dos vértices é um método simples para calcular a distância entre dois números *Fuzzy* trapezoidais ou triangulares (CHEN 2000). De acordo com o método do vértice, dois números *Fuzzy*  $\tilde{A}$  e  $\tilde{N}$  são idênticos se e somente se  $d(\tilde{A}, \tilde{N}) = 0$ . Considerando  $\tilde{A}$ ,  $\tilde{N}$  e  $\tilde{O}$  três números *Fuzzy*,  $\tilde{N}$  está mais próximo de  $\tilde{A}$  do que de  $\tilde{O}$  se e somente se  $d(\tilde{A}, \tilde{N}) < d(\tilde{A}, \tilde{O})$  (CHEN, 2000).

LUUKKA (2011) apresentou uma medida de similaridade *Fuzzy* para calcular semelhanças entre números *Fuzzy*. Esta linha de pesquisa foi continuada por NIYIGENA et al. (2012), onde os autores propõem duas formas diferentes de calcular similaridade *Fuzzy* e por

COLLAN E LUUKKA (2014), que apresentam um estudo comparativo entre quatro medidas de similaridade *Fuzzy*. Segundo os autores, a principal diferença entre medidas de distância e similaridade, é que estas levam em consideração mais informação, tais como distância geométrica, perímetro, área e altura dos números *Fuzzy*. De forma que, como comprova o estudo realizado por HEJAZI et al. (2011), torna-se uma comparação mais precisa, que simplesmente calcular a distância entre números *crisp* extraídos de conjuntos *Fuzzy*, como indica o método dos vértices.

Para ZADEH (1971), da mesma forma que a noção do subconjunto *Fuzzy* generaliza a do subconjunto clássico, o conceito de similaridade pode ser considerado como uma generalização da noção clássica de equivalência. A seguir, serão apresentadas as quatro formas, mencionadas no parágrafo anterior, de calcular a similaridade entre números *Fuzzy*.

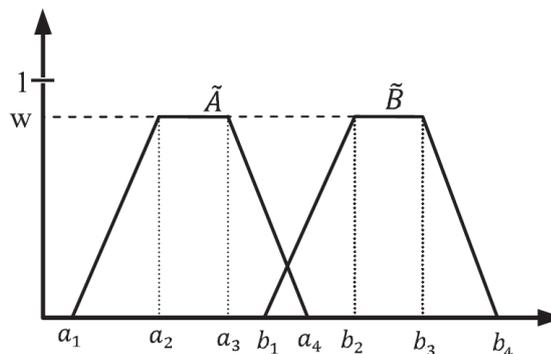
Sendo  $\tilde{A} = (a_1, a_2, a_3, a_4, w_a)$  e  $\tilde{B} = (b_1, b_2, b_3, b_4, w_b)$  dois números *Fuzzy* trapezoidais generalizados, como mostra a Figura 25, onde  $w \in (0,1]$ , quando  $w = 1$ , tem-se um número *Fuzzy* trapezoidal normalizado. HSIEH & CHEN (1999) propuseram, então, calcular a similaridade entre números *Fuzzy* trapezoidais normalizados através da equação 4.9:

$$S_1(\tilde{A}, \tilde{B}) = \frac{1}{1 + d(\tilde{A}, \tilde{B})} \quad (4.9)$$

Onde  $d(\tilde{A}, \tilde{B}) = |P_1(\tilde{A}) - P_1(\tilde{B})|$ .  $P_1(\tilde{A})$  e  $P_1(\tilde{B})$  são a *defuzzificação* dos números  $\tilde{A}$  e  $\tilde{B}$  (ou seja, a transformação de *Fuzzy* para escalar). Segundo HSIEH & CHEN (1999), para números trapezoidais normalizados, essa transformação pode ser calculada segundo a equação 4.10:

$$\begin{aligned} P_1(\tilde{A}) &= \frac{a_1 + 2a_2 + 2a_3 + a_4}{6} \\ P_1(\tilde{B}) &= \frac{b_1 + 2b_2 + 2b_3 + b_4}{6} \end{aligned} \quad (4.10)$$

Figura 25 – Números *Fuzzy* trapezoidais generalizados



Fonte: O Autor.

Uma segunda forma de calcular a similaridade Fuzzy é proposta por CHEN & CHEN (2001). Os autores utilizam o do método do centro de gravidade. Considerando  $\tilde{A} = (a_1, a_2, a_3, a_4, w_a)$  e  $\tilde{B} = (b_1, b_2, b_3, b_4, w_b)$  números Fuzzy generalizados,  $(X_a, Y_a)$  e  $(X_b, Y_b)$ , são os pontos do centro de gravidade de  $\tilde{A}$  e  $\tilde{B}$  respectivamente, calculados segundo equação 4.11:

$$Y_a = \begin{cases} w_a \left( \frac{a_3 - a_2}{a_4 - a_1} \right), & \text{se } a_1 \neq a_4 \text{ e } 0 < w_a \leq 1 \\ \frac{w_a}{2} & , \text{se } a_1 = a_4 \text{ e } 0 < w_a \leq 1 \end{cases} \quad (4.11)$$

$$X_a = \frac{Y_a(a_3 + a_2) + (a_4 + a_1)(w_a - Y_a)}{2w_a}$$

E o grau de similaridade  $S(\tilde{A}, \tilde{B})$  é calculado como mostra a equação 4.12:

$$S_2(\tilde{A}, \tilde{B}) = \left( 1 - \frac{\sum_{i=1}^4 |a_i - b_i|}{4} \right) (1 - |X_a - X_b|)^{\frac{S_a - S_b}{2}} \times \frac{\min(Y_a, Y_b)}{\max(Y_a, Y_b)} \quad (4.12)$$

Onde  $S_2(\tilde{A}, \tilde{B}) \in [0,1)$ ;  $\frac{S_a - S_b}{2} = 0$  quando  $\frac{S_a - S_b}{2} = 0$ ;  $\frac{S_a - S_b}{2} = 1$  quando  $0 < \frac{S_a - S_b}{2} \leq 1$ , onde  $S_a = a_4 - a_1$  e  $S_b = b_4 - b_1$ .

Um terceiro método para o cálculo do grau de similaridade entre dois números Fuzzy trapezoidais, é apresentado por WEI & CHEN (2009), utilizando uma combinação de perímetro e distancia geométrica. Para números Fuzzy normalizados, pode ser calculado como mostram a equações 4.13 e 4.14.

$$S_3(\tilde{A}, \tilde{B}) = \left( 1 - \frac{\sum_{i=1}^4 |a_i - b_i|}{4} \right) \times \frac{\min(P_2(\tilde{A}), P_2(\tilde{B}))}{\max(P_2(\tilde{A}), P_2(\tilde{B}))} \quad (4.13)$$

Onde  $P_2(\tilde{A})$  e  $P_2(\tilde{B})$  são definidos segundo a equação 4.14 e denotam os perímetros dos números Fuzzy normalizados.

$$P_2(\tilde{A}) = \sqrt{(a_1 - a_2)^2 + 1} + \sqrt{(a_3 - a_4)^2 + 1} + (a_3 - a_2) + (a_4 - a_1) \quad (4.14)$$

$$P_2(\tilde{B}) = \sqrt{(b_1 - b_2)^2 + 1} + \sqrt{(b_3 - b_4)^2 + 1} + (b_3 - b_2) + (b_4 - b_1)$$

Uma quarta maneira de calcular a similaridade Fuzzy, proposta por HEJAZI et al. (2011), leva em consideração valores de distância geométrica, perímetro e área de dois números Fuzzy generalizados como mostra a equação 4.15:

$$S_4(\tilde{A}, \tilde{B}) = \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^4 |a_i - b_i|}{4}\right) x \left(\frac{\min(P_2(\tilde{A}), P_2(\tilde{B}))}{\max(P_2(\tilde{A}), P_2(\tilde{B}))}\right) x \left(\frac{\min(\text{Area}(\tilde{A}), \text{Area}(\tilde{B})) + \min(w_a, w_b)}{\max(\text{Area}(\tilde{A}), \text{Area}(\tilde{B})) + \max(w_a, w_b)}\right) \quad (4.15)$$

Onde  $P_2(\tilde{A})$  e  $P_2(\tilde{B})$  são calculados conforme equação 4.14 e as áreas dos números trapezoidais generalizados são calculados segundo equação 4.16:

$$\begin{aligned} \text{Area}(\tilde{A}) &= \frac{1}{2} w_a (a_3 - a_2 + a_4 - a_1) \\ \text{Area}(\tilde{B}) &= \frac{1}{2} w_b (b_3 - b_2 + b_4 - b_1) \end{aligned} \quad (4.16)$$

Para todos os métodos apresentados, quanto maior o valor de  $S(\tilde{A}, \tilde{B})$ , maior a similaridade entre os números *Fuzzy*  $\tilde{A}$  e  $\tilde{B}$ , e eles serão idênticos se e somente se  $S(\tilde{A}, \tilde{B}) = 1$ .

COLLAN & LUUKKA (2014) avaliam essas quatro formas de calcular a similaridade, e concluem que o método proposto por HEJAZI et al. (2011) alcança resultados mais precisos, uma vez que leva em consideração mais informações a respeito dos números *Fuzzy* como distância geométrica, perímetro área e altura.

#### 4.4 O MÉTODO FUZZY TOPSIS

A metodologia MCDM proposta neste trabalho é a técnica TOPSIS, desenvolvida inicialmente por HWANG & YOON (1981), e que se baseia em avaliar o desempenho das alternativas através da similaridade com a solução ideal. De acordo com esta técnica, a melhor alternativa seria aquela que é a mais próxima da solução ideal positiva e a mais distante da solução ideal negativa.

A solução ideal positiva é uma solução que maximiza os critérios de benefício e minimiza os critérios de custo; já a solução ideal negativa maximiza os critérios de custo e minimiza os critérios de benefício. Em outras palavras, a solução ideal positiva é composta pelos melhores valores atingíveis dos critérios de benefício, visto que a solução ideal negativa consiste em todos os piores valores atingíveis dos critérios de custo (KROHLING & CAMPANHARO, 2009).

Na estruturação tradicional do TOPSIS, os julgamentos pessoais são representados por valores numéricos absolutos (*crisp*). Contudo, como visto anteriormente, em muitos casos práticos, a modelagem da preferência humana é imprecisa. E a utilização de números absolutos pode não ser adequada aos tomadores de decisão em julgamentos de comparação. Isso motivou a expansão da técnica TOPSIS para utilização de matriz de decisão a partir de dados incertos, resultando na técnica *Fuzzy* TOPSIS, que tem sido aplicada com sucesso na solução de vários problemas de MCDM (CHEN, 2000; COLLAN & LUUKKA, 2014; CHEN et al, 2006; AL-NAJJAR & ALSYOUF, 2003; entre outros).

DING & KAMARUDDIN (2015) utilizaram os métodos *Fuzzy* TOPSIS e *crisp* TOPSIS para selecionar a melhor política de manutenção para máquinas de revestimento na produção de painéis de circuitos eletrônicos. Em seguida, os autores compararam ambos os métodos, utilizando análise de sensibilidade e verificaram que a resiliência e estabilidade do método *crisp* TOPSIS são relativamente baixas quando comparadas ao *Fuzzy* TOPSIS.

Assim como DING & KAMARUDDIN (2015), MANIYA & BHATT (2011) também realizaram um estudo de comparação entre os métodos *crisp* TOPSIS e *Fuzzy* TOPSIS. MANIYA & BHATT (2011) propuseram escolher projetos de *layout* de planta para uma empresa de embalagens de Circuito Integrado e concluíram que utilizar uma escala numérica limita a capacidade do tomador de decisão para uma classificação mais adequada. Os autores apontaram que a imprecisão, as ambiguidades e as incertezas enfrentadas pelos tomadores de decisão, a partir de suas percepções subjetivas e experiências, na condução de julgamentos baseados em restrições não quantificáveis podem ser resolvidas de forma eficaz usando variáveis linguísticas.

Portanto, neste trabalho, utilizou-se o método TOPSIS no ambiente *Fuzzy*, de forma que, tanto o peso dos critérios, quanto a mensuração das alternativas de acordo com os critérios foram representadas por variáveis linguísticas, expressas através de números *Fuzzy* triangulares e trapezoidais. São apresentadas, na sequência a seguir, as etapas da metodologia *Fuzzy* TOPSIS, baseadas em CHEN (2000):

- **Etapa 1:** Formar um comitê de decisores para identificar os critérios de avaliação do problema, bem como os pesos de importância de cada critério, representados por variáveis linguísticas, traduzidas em números *Fuzzy*;
- **Etapa 2:** Para cada decisor, obter a matriz de decisão com a avaliação de cada alternativa em relação aos critérios através das variáveis linguísticas;

- **Etapa 3:** Unificar as avaliações dos tomadores de decisão, tanto com relação aos pesos dos critérios como com relação às classificações das alternativas, em uma matriz de decisão unificada, que represente o comitê como um todo;
- **Etapa 4:** Obter a matriz de decisão *Fuzzy* normalizada e ponderada, multiplicando a matriz de decisão pela importância relativa de cada critério;
- **Etapa 5:** Determinar as soluções ideais positiva e negativa, que serão utilizadas como parâmetro de comparação para as alternativas em análise;
- **Etapa 6:** Calcular a semelhança de cada uma das alternativas de decisão em relação à solução positiva ideal e solução negativa ideal;
- **Etapa 7:** Calcular o coeficiente de semelhança de cada uma das alternativas. Quanto maior o coeficiente da alternativa, mais semelhante à solução ideal positiva e mais distante da solução ideal negativa, simultaneamente, estará a alternativa a ser avaliada;
- **Etapa 8:** Definição do ordenamento (*ranking*) das alternativas a partir do cálculo do coeficiente de semelhança de cada alternativa.

#### 4.5 O ALGORITMO *FUZZY* TOPSIS PROPOSTO

O algoritmo *Fuzzy* TOPSIS, proposto neste trabalho, para classificar as melhores alternativas a serem tomadas para o sucesso do gerenciamento da manutenção seguiu essencialmente o mesmo passo a passo determinado por CHEN (2000), na seção anterior. Entretanto, para o cálculo da semelhança entre as alternativas de decisão e a solução ideal positiva e negativa, propõe-se a utilização de medidas de similaridade *Fuzzy* como as apresentadas anteriormente, em vez do método dos vértices proposto por CHEN (2000), devido às justificativas apresentadas na seção 4.3.3.

A configuração do algoritmo proposto é mostrada a seguir:

- i. Definir um conjunto de  $K$  tomadores de decisão, denominado  $D = \{D_1, D_2, \dots, D_K\}$ ;
- ii. Definir um conjunto de  $m$  alternativas a serem avaliadas, denominado  $A = \{A_1, A_2, \dots, A_m\}$ ;
- iii. Definir um conjunto de  $n$  critérios,  $C = \{C_1, C_2, \dots, C_n\}$ , através dos quais as alternativas serão avaliadas;

- iv. Definir o conjunto de classificações de desempenho de  $A_i$  ( $i=1, 2, \dots, m$ ) com relação aos critérios  $C_j$  ( $j=1, 2, \dots, n$ ), denominado de matriz de decisão,  $X=\{x_{ij}, i=1,2,\dots,m, j=1,2,\dots,n\}$ .

As avaliações *Fuzzy* feitas por cada tomador de decisão  $D_k$  ( $k = 1, 2, \dots, K$ ) são representadas usando números *Fuzzy* trapezoidais positivos e normalizados,  $\tilde{X}_k$  ( $k=1, 2, \dots, K$ ). Para agregar as matrizes de decisão de cada tomador de decisão,  $\tilde{R}_k=(a_k, b_k, c_k, d_k)$ , ( $k=1, 2, \dots, K$ ) a uma única matriz, utilizou-se o método proposto por CHEN et al. (2006), onde um número *Fuzzy* trapezoidal agregado,  $\tilde{R} = (a, b, c, d)$  é definido como mostra as equações 4.17 e 4.18

$$\tilde{R} = (a, b, c, d) \quad (4.17)$$

Onde:

$$\begin{aligned} a &= \min_k \{a_k\}, & b &= \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K b_k, \\ c &= \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K c_k, & d &= \max_k \{d_k\} \end{aligned} \quad (4.18)$$

As avaliações *Fuzzy* e a determinação do peso da importância de cada critério realizadas pelo  $k$ -ésimo tomador de decisão serão  $\tilde{x}_{ijk} = (a_{ijk}, b_{ijk}, c_{ijk}, d_{ijk})$  e  $\tilde{w}_{ijk} = (w_{jk1}, w_{jk2}, w_{jk3}, w_{jk4})$ ; ( $i = 1, 2, \dots, m$ ), ( $j=1, 2, \dots, n$ ), respectivamente. Assim, as avaliações unificadas ( $\tilde{x}_{ij}$ ) das alternativas em relação a cada critério são definidas como:

$$\tilde{x}_{ij} = (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij}, d_{ij}) \quad (4.19)$$

Onde:

$$\begin{aligned} a_{ij} &= \min_k \{a_{ijk}\}, & b_{ij} &= \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K b_{ijk}, \\ c_{ij} &= \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K c_{ijk}, & d_{ij} &= \max_k \{d_{ijk}\}, \end{aligned} \quad (4.20)$$

De maneira semelhante, o peso *Fuzzy* unificado  $\tilde{w}_j$  de cada critério pode ser calculado como:

$$\tilde{w}_j = (w_{j1}, w_{j2}, w_{j3}, w_{j4}) \quad (4.21)$$

Onde:

$$\begin{aligned} w_{j1} &= \min_k \{w_{jk1}\}, & w_{j2} &= \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K w_{jk2}, \\ w_{j3} &= \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K w_{jk3}, & w_{j4} &= \max_k \{w_{jk4}\}, \end{aligned} \quad (4.22)$$

De forma que o problema de seleção das melhores alternativas pode ser expresso concisamente na forma de matriz como a seguir:

$$\tilde{X} = \begin{pmatrix} \tilde{x}_{11} & \tilde{x}_{12} & \dots & \tilde{x}_{1n} \\ \tilde{x}_{21} & \tilde{x}_{22} & \dots & \tilde{x}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \tilde{x}_{m1} & \tilde{x}_{m2} & \dots & \tilde{x}_{mn} \end{pmatrix} \quad (4.23)$$

$$\tilde{W} = (\tilde{w}_1, \tilde{w}_2, \dots, \tilde{w}_n) \quad (4.24)$$

Onde  $\tilde{x}_{ij} = (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij}, d_{ij})$  e  $\tilde{w}_j = (w_{j1}, w_{j2}, w_{j3}, w_{j4})$  podem ser aproximados por números *Fuzzy* trapezoidais positivos.

O conjunto de critérios pode ser dividido em critérios de benefício (quanto maior o valor de classificação, maior o benefício) e critérios de custo (quanto menor o valor de classificação, maior o benefício). Portanto, a matriz de decisão *Fuzzy* normalizada pode ser representada como:

$$\tilde{R} = [\tilde{r}_{ij}]_{m \times n} \quad (4.25)$$

$$\tilde{r}_{ij} = \left( \frac{a_{ij}}{d_j^+}, \frac{b_{ij}}{d_j^+}, \frac{c_{ij}}{d_j^+}, \frac{d_{ij}}{d_j^+} \right), \quad j \in B \quad (4.26)$$

$$\tilde{r}_{ij} = \left( \frac{a_j^-}{d_{ij}}, \frac{a_j^-}{c_{ij}}, \frac{a_j^-}{b_{ij}}, \frac{a_j^-}{a_{ij}} \right), \quad j \in C$$

Onde B e C são definidos como os conjuntos de critérios de benefício e critérios de custo, respectivamente e  $d_j^+ = \max_i(d_{ij}), j \in B$ , e  $a_j^- = \min_i(a_{ij}), j \in C$ .

A matriz de decisão depois de normalizada, deve ser ponderada, considerando o vetor de pesos de cada critério, e é expressa como a seguir:

$$\begin{aligned} \tilde{V} &= (\tilde{v}_{ij})_{m \times n} \\ \tilde{v}_{ij} &= \tilde{r}_{ij}(\cdot) \tilde{w}_j \end{aligned} \quad (4.27)$$

O próximo passo é obter a Solução *Fuzzy* Ideal Positiva (*Fuzzy Positive Ideal Solution* - FPIS),  $A^+ = (\tilde{v}_1^+, \tilde{v}_2^+, \dots, \tilde{v}_n^+)$  e a Solução *Fuzzy* Ideal Negativa (*Fuzzy Negative Ideal Solution* - FNIS),  $A^- = (\tilde{v}_1^-, \tilde{v}_2^-, \dots, \tilde{v}_n^-)$ . Existem algumas alternativas possíveis sobre como escolhê-las, como apontado por LUUKKA (2011) e CHEN et al. (2006).

A primeira opção, determinada por CHEN et al. (2006), propõe que:

$$\tilde{v}_j^+ = \max_i(v_{ij4}) \quad \tilde{v}_j^- = \min_i(v_{ij1}) \quad (4.28)$$

Ou seja, a FPIS é determinada escolhendo os máximos valores *Fuzzy* da matriz de decisão e substituindo seus elementos pelo quarto elemento que os compõem. Por exemplo, considerando

$\tilde{A} = (a, b, c, d)$  um máximo valor *Fuzzy* da matriz decisão, substitui-se, no mesmo,  $a, b$  e  $c$  pelo valor  $d$ . A FNIS é determinada de maneira semelhante, só que utilizando os mínimos valores *Fuzzy* da matriz decisão, e substituindo  $b, c$  e  $d$  por  $a$ .

LUUKKA (2011) define a opção determinada por CHEN et al. (2006), na equação 4.28, como arbitrária. Pois, o grau de pertinência nos pontos  $d$  ou  $a$  é zero, como mostram, por exemplo, as Figuras 22 e 23. Além disso, esse método utiliza, na verdade, valores *crisp*, apresentados de uma maneira *Fuzzy*, em vez de números *Fuzzy* propriamente ditos. Seguindo esse tipo de pensamento, uma segunda forma intuitiva e simples para a escolha das FPIS, proposta por LUUKKA (2011), seria simplesmente o conjunto de uns,  $\tilde{v}_j^+ = (1,1,1,1)$ , e para as FNIS, um conjunto de zeros,  $\tilde{v}_j^- = (0,0,0,0)$ .

Uma terceira opção ainda, proposta por LUUKKA (2011), é encontrar, a partir da matriz de decisão, os valores *Fuzzy* máximos e mínimos das avaliações das alternativas e adotá-las como FPIS e FNIS, respectivamente. De forma que:

$$\tilde{v}_j^+ = \max_i(v_{ij}) \quad \tilde{v}_j^- = \min_i(v_{ij}) \quad (4.29)$$

Segundo LUUKKA (2011), a escolha das FPIS e FNIS proposta na equação 4.29 realmente utiliza-se de um número *Fuzzy* trapezoidal. Portanto, empregou-se no algoritmo desenvolvido, essa forma de calcular a FPIS e FNIS.

Em seguida, tem-se que calcular as semelhanças *Fuzzy* entre as alternativas de decisão e as FPIS e FNIS. Elas são calculadas da seguinte maneira:

$$S_i^+ = \frac{\sum_{j=1}^n S_v(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^+)}{n} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (4.30)$$

$$S_i^- = \frac{\sum_{j=1}^n S_v(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^-)}{n} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (4.31)$$

Onde  $S_v(\cdot, \cdot)$ , que corresponde à similaridade entre as alternativas de decisão e as FPIS e FNIS, para cada um dos critérios, pode ser calculado a partir de alguma das equações de similaridade apresentadas na seção 4.3.3.

Por fim, calcula-se o coeficiente de similaridade, que é definido para determinar a ordem de classificação (*ranking*) de todas as alternativas de decisão, conforme equação 4.32. O coeficiente, neste caso, leva em consideração a similaridade de cada alternativa com a FPIS e a FNIS simultaneamente, calculando a similaridade relativa à FPIS.

$$CCS_i = \frac{S_i^+}{S_i^+ + S_i^-}, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (4.32)$$

#### 4.6 ESCOLHA DO MÉTODO DE ANÁLISE MULTICRITÉRIO

Os estudos comparativos do uso de diferentes métodos de MCDM através de simulações de casos reais não são conclusivos sobre qual método mais adequado ou, ainda, quais as vantagens e desvantagens de um determinado método em relação aos demais para a solução de um determinado tipo de problema (FRENCH 1993; ZANAKIS et al., 1998). GUITOUNI & MARTEL (1998) afirmam que, na prática, os pesquisadores não justificam, consistentemente, a escolha de um determinado método e os motivos que levaram à não-utilização de outros. Para esses autores, a seleção acaba sendo motivada por afinidade com determinado método específico.

O problema de priorização de estratégias para melhoria do gerenciamento da manutenção consiste, basicamente, em estabelecer uma hierarquia entre alternativas analisadas, de acordo com relações de preferência definidas por um grupo de decisores. Portanto, o método de MCDM selecionado deve suportar articulação de preferências definidas *a priori*. Ou seja, as preferências e prioridades dos decisores são tratadas como dados de entrada do modelo. Além disso, como discutido anteriormente, o método escolhido deve prover o tratamento sistemático de informações de natureza qualitativa através de variáveis linguísticas representadas por números *Fuzzy*.

A metodologia *Fuzzy* TOPSIS reúne as características apresentadas no parágrafo anterior, que justificam sua utilização no presente estudo. Também se trata de uma metodologia de priorização que requer pouca complexidade computacional, e pode lidar com características tais como: quantidade ilimitada de critérios e alternativas, combinação de diferentes modelos de decisão, tomada de decisão em grupo (HWANG & YOON, 1981).

OPRICOVIC & TZENG (2004) criticam a metodologia TOPSIS no sentido que considerar a menor distância da solução ideal positiva simultaneamente com a maior distância da solução ideal negativa, sem considerar a importância relativa dessas distâncias, pode não ser suficiente em problemas de tomada de decisão.

Para CHEN et al. (2006) e LUUKKA (2011), uma abordagem mais realista, que supera a limitação abordada por OPRICOVIC & TZENG (2004), seria usar variáveis linguísticas para descrever o *status* de avaliação de cada alternativa de acordo com o seu coeficiente de proximidade ou similaridade. Para isso, basta dividir o intervalo de valores dos coeficientes de similaridade em subintervalos iguais e atribuir-lhes variáveis linguísticas para classificar cada

alternativa em categorias. Essa abordagem é ilustrada na Tabela 8, onde os autores dividem o intervalo  $[0,1]$  em cinco subintervalos.

Tabela 8 – *Status* de Avaliação

<b>Coeficiente de Similaridade</b>	<b>Status de Avaliação</b>
$S_i \in [0,0.2)$	Alternativa não recomendada
$S_i \in [0.2,0.4)$	Alternativa recomendada com alto risco
$S_i \in [0.4,0.6)$	Alternativa recomendada com baixo risco
$S_i \in [0.6,0.8)$	Alternativa aprovada
$S_i \in [0.8,1.0]$	Alternativa indicada

Fonte: Adaptado de LUUKKA (2011)

Portanto, se apenas o ordenamento das alternativas de decisão não for suficiente para o problema de tomada de decisão, pode-se analisar o *status* de avaliação de cada alternativa, como proposto por CHEN et al. (2006) e LUUKKA (2011), utilizando o TOPSIS.

## 5 METODOLOGIA PROPOSTA PARA O APOIO À DECISÃO NO GERENCIAMENTO DA MANUTENÇÃO

Como visto anteriormente nos Capítulos 2 e 3, uma Manutenção eficaz, eficiente e que favoreça a competitividade da organização depende muito de estratégias adequadas (FAGHIHINIA & MOLLAVERDI, 2012). De acordo com BASHIRI et al. (2011), um terço do custo do setor da manutenção é devido à escolha de estratégias inadequadas. Além disso, as vantagens de estratégias eficazes de manutenção vão além de valores monetários. A segurança dos funcionários, os impactos ambientais e o desempenho da produção são exemplos de fatores que são significativamente influenciados pela manutenção (DING & KAMARUDDIN, 2015).

A maioria das organizações reconhece a importância da adoção de boas estratégias de manutenção. No entanto, muitas vezes, pode ser difícil determinar a estratégia de manutenção mais adequada devido à existência de informações imprecisas e fatores tangíveis, assim como perda de produção e custos de investimento, e intangíveis, como habilidades da manutenção, segurança pessoal (DING & KAMARUDDIN, 2015). O modelo de processo decisório proposto nesta dissertação, e apresentado em sua forma mais ampla na Figura 26, baseado em MIRSHAWKA & OLMEDO (1993); NAKAJIMA (1988); SANTOS (1999); SANTOS (2009) e MITTAL et al. (2016) objetiva, portanto, auxiliar os tomadores de decisão da manutenção a padronizar a forma de priorização de ações para melhoria da eficiência da gestão da manutenção. Buscando, assim, diminuir a subjetividade atrelada às tomadas de decisões da manutenção e conseqüentemente aumentar a produtividade da organização como um todo.

O modelo da Figura 26 engloba as etapas da metodologia *Fuzzy* TOPSIS, apresentadas na seção 4.4 e delineadas aqui na Figura 27, utilizada neste caso para apoio à decisão no gerenciamento da manutenção. Como ilustra a Figura 26, assim como seu detalhamento na Figura 27, o objetivo do modelo é recomendar ações para solucionar os problemas da manutenção em uma ordem de classificação de prioridades, obtidas a partir do resultado do algoritmo. Ou seja, a partir do modelo é possível priorizar ações para mitigar os problemas da manutenção que mais afetam o alcance dos objetivos da organização. As etapas do modelo da Figura 26 estão explanadas, de um modo geral, nas seções seguintes, destacando o passo a passo do processo detalhado na Figura 27.

Figura 26 – Modelo de processo decisório para o gerenciamento da Manutenção

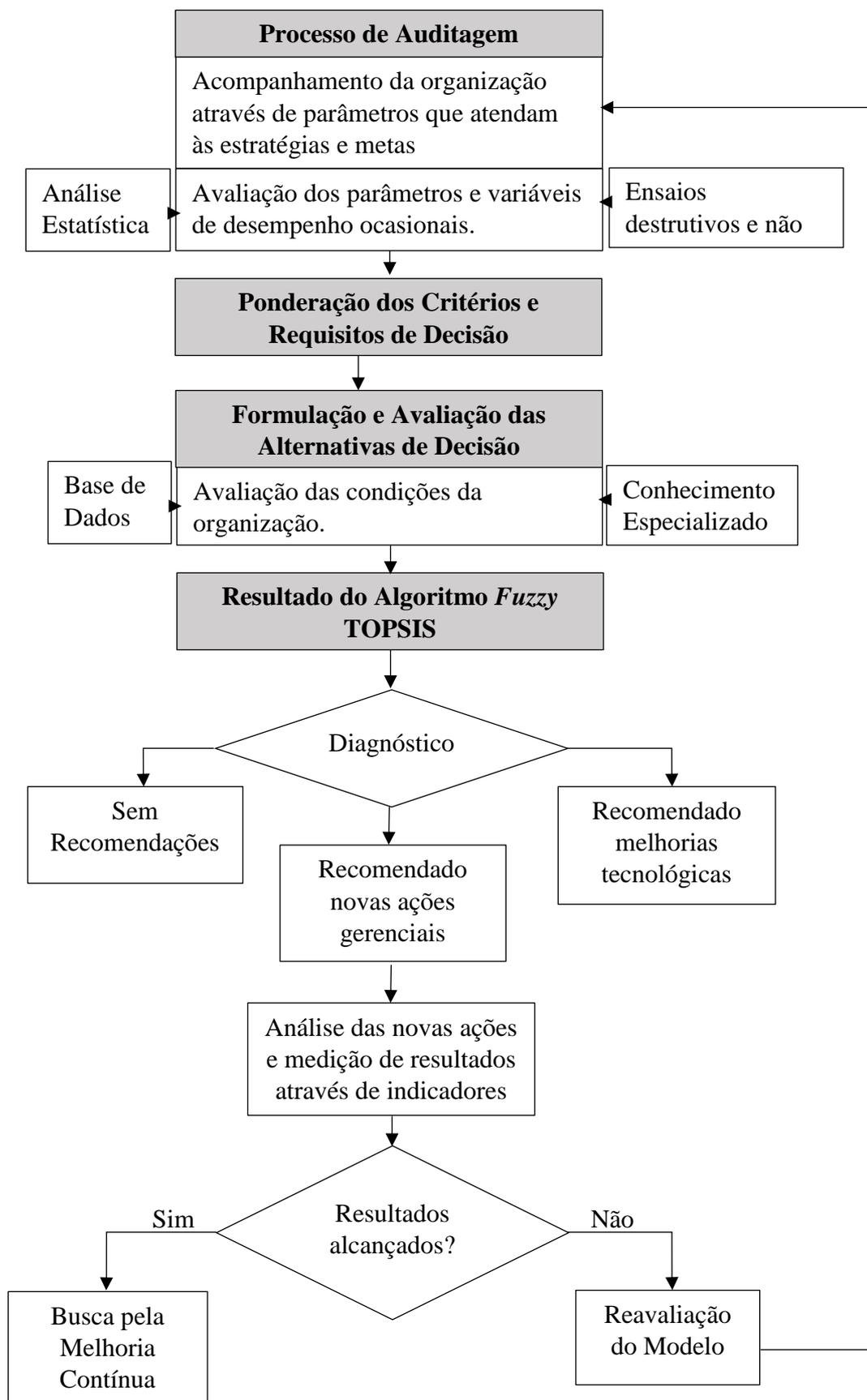
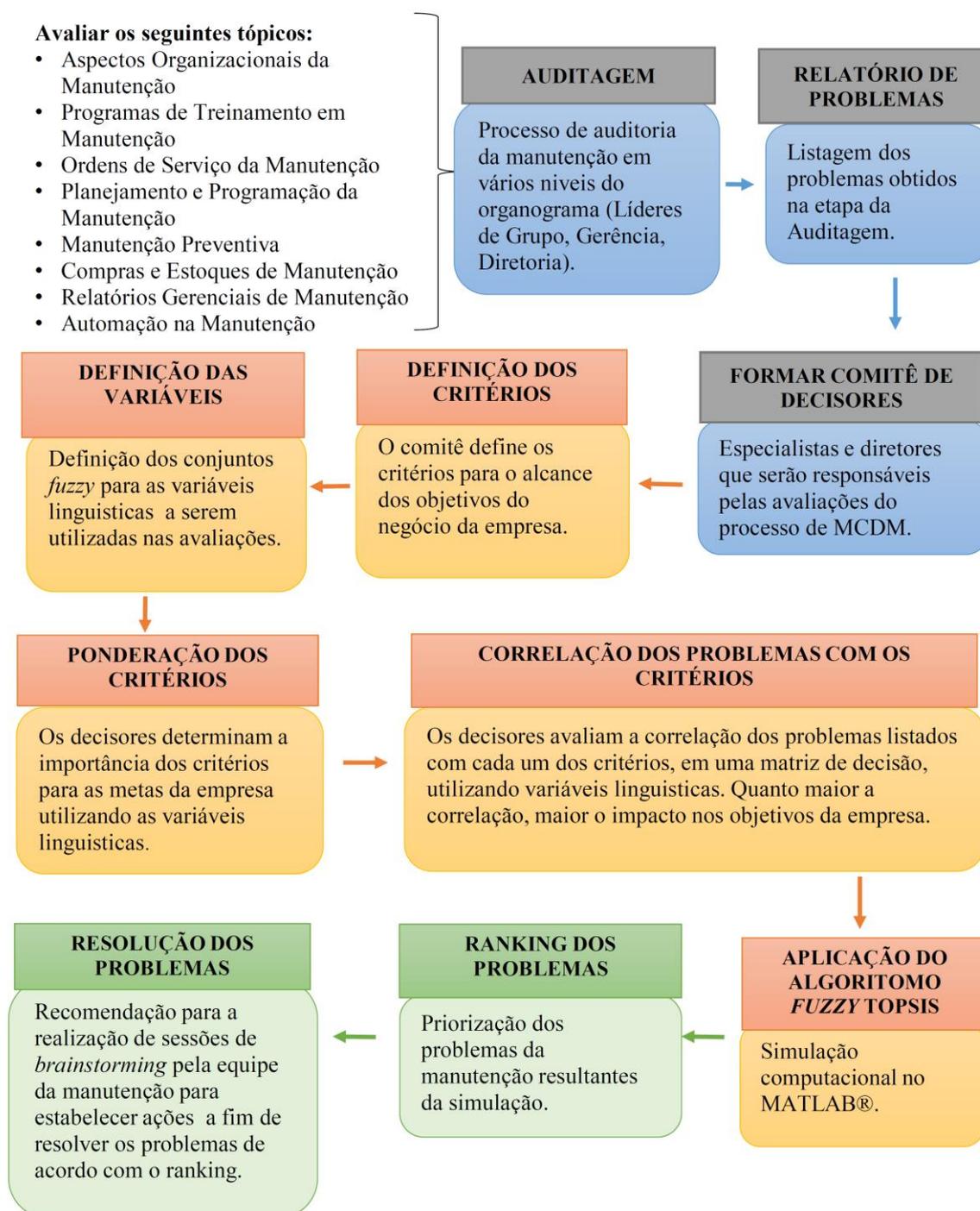


Figura 27 – Metodologia *Fuzzy* TOPSIS para apoio a decisão na gestão da Manutenção

Fonte: O Autor.

## 5.1 O PROCESSO DE AUDITAGEM

Uma auditoria de manutenção é um exame do sistema de manutenção para verificar se o gerenciamento de manutenção está cumprindo sua missão, suas metas e objetivos, seguindo

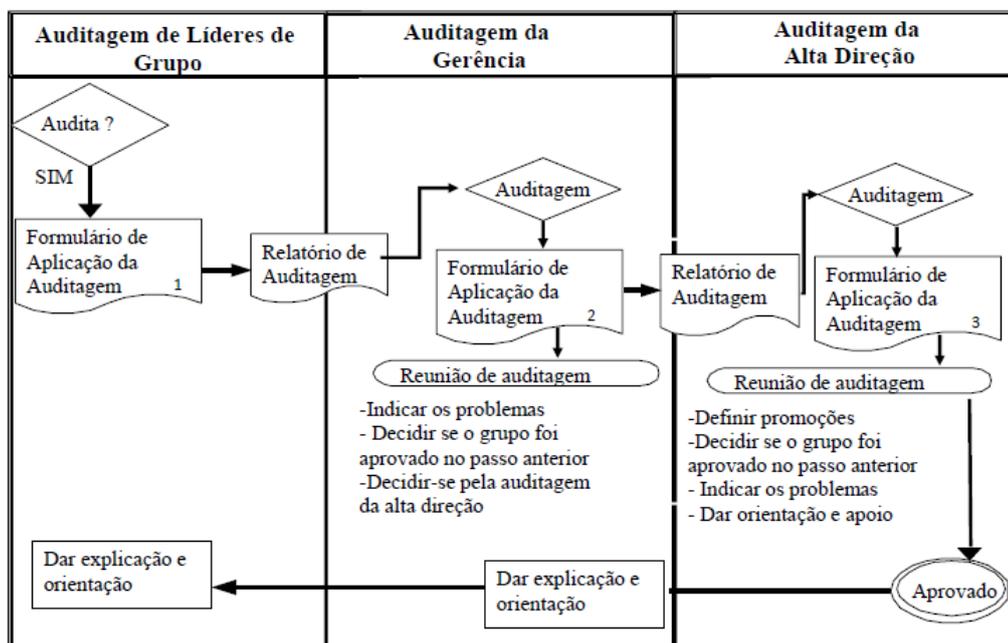
os procedimentos apropriados e gerenciando recursos de maneira eficiente e eficaz (KUMAR et al., 2013). A auditoria geralmente é realizada usando um questionário projetado para fornecer um perfil do sistema de manutenção, baseada em um padrão designando o que constitui um bom sistema (KUMAR et al., 2013). Entretanto, esse sistema não pode estar isolado de uma compreensão profunda dos negócios da organização da empresa. Nesse sentido, a metodologia proposta permite, através da técnica TOPSIS, a ponderação de atributos e critérios relevantes ao alcance das metas da organização.

Dessa forma, a metodologia aqui proposta procura agregar a técnica MCDM TOPSIS ao sistema de auditoria tradicional no sentido de permitir a inserção da ponderação de atributos relevantes para a realidade da organização.

Segundo GALAR et al. (2011a) todo o pessoal envolvido na função de manutenção deve participar do processo de auditoria, conforme recomendado pelo TPM (SANTOS, 2009), assim como ilustra a Figura 28. Todos os níveis hierárquicos, desde líderes de grupos, passando por gerentes até diretores deve contribuir no fornecimento de informações e na obtenção das métricas necessárias (GALAR et al., 2011a; SANTOS, 2009). Dessa forma, é possível se obter uma apreciação mais abrangente do real desempenho da manutenção, integrando a visão de cada um dos níveis hierárquicos. Além disso, há a possibilidade de assim confrontar as diferentes opiniões e englobar o maior número possível de problemas da gestão da manutenção (SANTOS, 2009). Obviamente, este tipo de grupos de trabalho multiníveis requer algum grau de maturidade corporativa e uma cultura de qualidade estabelecida GALAR et al. (2011a).

Para os propósitos desta dissertação, como ferramenta de auditoria, determina-se a aplicação do questionário aqui desenvolvido (Anexos A e B), conforme descrito na seção 1.4. O questionário foi desenvolvido a fim de analisar o perfil de desempenho da função manutenção, segundo os padrões das práticas de gestão da manutenção, apresentadas no Capítulo 3, e que se fundamentam nas recomendações da metodologia TPM. Portanto a partir dele, é possível extrair os desvios do que é classificado como práticas adequadas de gerenciamento, segundo a literatura aqui apresentada, e que devem ser consideradas pelas organizações de manutenção. Recomenda-se, ainda, que o mesmo seja aplicado aos vários níveis da organização, como descrito acima.

Figura 28 – Processo de Auditoria recomendado pelo TPM



Fonte: Adaptado de SANTOS (2009)

No questionário, primou-se por um padrão de questões de múltipla escolha, onde as questões apresentam a mesma escala de respostas. Isto é, da mais adequada, resposta “a”, para a menos adequada, resposta “e”. Portanto, as respostas menos adequadas, conforme preconiza os padrões de MCM, serão identificadas como os problemas a serem mitigados e que serão então utilizados como alternativas de decisão no modelo aqui proposto e ilustrado na Figura 27.

A parte do questionário que consta no Anexo A é composta pelas questões elaboradas por MIRSHAWKA & OLMEDO (1993) e que abordam os mesmos tópicos descritos no Capítulo 3: Aspectos organizacionais da manutenção; Programas de Treinamento em manutenção; OS da manutenção; Planejamento e Programação da manutenção; Manutenção Preventiva; Compras e Estoques de manutenção; Relatórios Gerenciais de manutenção; e Automação da manutenção. Para uma avaliação mais abrangente e uma identificação mais detalhada dos problemas presentes na manutenção, foi desenvolvida uma complementação ao questionário de MIRSHAWKA & OLMEDO (1993) (Apêndice A). Seguindo o mesmo raciocínio de escala de respostas, foram adicionadas mais perguntas a alguns dos tópicos propostos pelos autores bem como foram acrescentados os seguintes, inspirados no método TPM:

- Caracterização da empresa;
- Análise de falhas;
- Terceirização;

- Custos;
- Manutenção civil

O questionário, em sua totalidade, contendo as questões do Anexo A e B, podem servir como base para o processo de auditoria da manutenção de uma forma generalizada, uma vez que estabelecem uma avaliação geral do desempenho dos métodos de manutenção. Entretanto, é importante evidenciar que a generalização do questionário pode não ser aplicável para contextos históricos ou cenários adversos. Pois, assim como evidenciam o modelo desenvolvido por RIIS et al. (1992 e 1997), fatores situacionais podem influenciar fortemente os métodos de manutenção usados em uma empresa. Segundo os autores, esses fatores podem ser diferentes dinâmicas, produtos, processos, tecnologias e influências de mercado na empresa. Ou ainda conforme os autores, fatores que se devem à variação na idade e qualidade das máquinas, interpretação/uso de conceitos de manutenção, condições ambientais variáveis, diferentes formas de operações de produção (número de turnos, tecnologia de produção, etc.).

Dessa forma, é necessário, assim como salienta SANTOS (1999), que a empresa determine que parâmetros são os mais importantes a serem avaliados, para o alcance de suas metas corporativas. Nesse sentido, RIIS et al. (1997) e NAKAJIMA (1988) salientam que para quaisquer novos métodos de planejamento de manutenção, há a necessidade de garantir que os mesmos estejam integrados ao *modus operandi* da organização. Diante dessas considerações, o modelo de avaliação, aqui proposto (Anexo A e Apêndice A), contudo, tem um grau de abstração sistêmico, conforme o que foi apresentado na revisão de literatura nesta dissertação. Ou seja, alheia-se aos detalhes e nuances administrativos das empresas e concentra-se no que há de comum entre os processos de manutenção.

## 5.2 ATORES NO PROCESSO DECISÓRIO

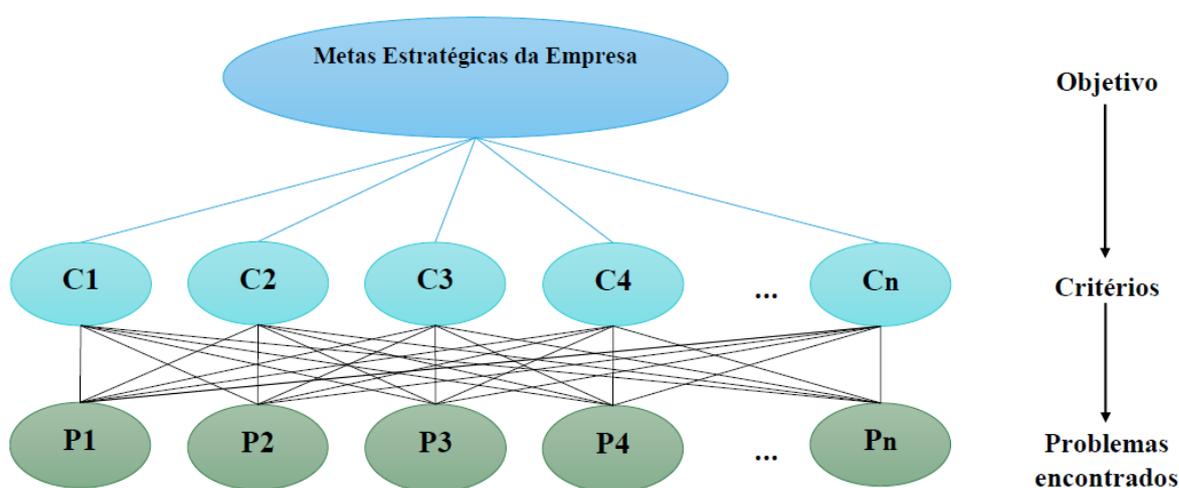
Como mostra a Figura 27, depois da definição dos problemas listados na etapa da auditoria, o modelo requer a formação de um comitê de decisores. Esse comitê deve ser composto por membros da diretoria e por especialistas de diferentes áreas afetadas pelo gerenciamento da Manutenção. Os mesmos devem possuir qualificação adequada para tomada de decisão e familiaridade organizacional. Dependendo da função do tomador de decisão dentro da organização, a disponibilidade de informações e o nível de conhecimento do mesmo sobre elementos do problema costumam variar. Portanto, a participação de representantes de diferentes áreas agrega valor à decisão, porque permite obter avaliações mais precisas e confiáveis além de minimizar a parcialidade no processo decisório (LEE & KIM, 2000).

O principal papel do comitê no processo decisório consiste em:

- a. Definir um conjunto de critérios de decisão que seja coerente com os requisitos operacionais e estratégicos da organização e avaliar a importância relativa de cada um desses critérios para o alcance das metas da empresa. Sugere-se que os membros da diretoria fiquem responsáveis por essa função;
- b. Avaliar a correlação existente entre cada um dos problemas identificados e os critérios adotados. Essa função deve ficar designada aos especialistas, detentores de informações técnicas necessárias para esse tipo de avaliação.

As opiniões de todos os membros participantes do comitê de decisores são posteriormente unificadas na etapa da agregação do algoritmo *Fuzzy TOPSIS*. A Figura 29 ilustra a árvore de decisão que deverá ser determinada pelos julgamentos do comitê de decisores. Nela está representada a relação existente entre os critérios e as metas estratégicas da empresa, assim como as correlações entre os critérios e cada problema encontrado (alternativas de decisão).

Figura 29 – Árvore de Decisão Multicritério



Fonte: O Autor.

### 5.3 DEFINIÇÃO DOS CRITÉRIOS

Conforme STEWART (2003), critério de decisão é qualquer aspecto, interesse ou ponto de vista através do qual um determinado curso de ação (alternativa de decisão) pode ser avaliado e ordenado de modo não ambíguo. Bons critérios são essenciais para avaliar em que medida os objetivos de uma organização podem ser atendidos pelas diferentes alternativas disponíveis (KEENEY & GREGORY, 2005).

Para BOUYSSOU (1990), KEENEY & RAIFFA, (1993), o conjunto de critérios a ser definido em uma análise multicritério deve atender às seguintes características:

- Garantia que todos os aspectos relevantes para a tomada de decisão estejam representados;
- Os critérios devem ser adequadamente compreendidos por todos os participantes;
- A avaliação de uma alternativa sob um determinado critério não pode depender da avaliação desta alternativa sob outros critérios;
- Utilização da menor quantidade possível de critérios, de modo a possibilitar efetiva discriminação das alternativas, sem comprometer o atendimento das demais características.

Entretanto, cabe aos decisores, preferencialmente membros da diretoria, definirem aqueles critérios que se apresentem mais importantes para a organização. De um modo geral, uma seleção equivocada conduzirá a decisões que não contemplem os objetivos estratégicos da empresa (DUTRA et al., 2014).

JOSHUA & MATHEW (2016) utilizaram os critérios: **segurança, custos e tempo** na pesquisa denominada “Seleção de uma estratégia ótima de manutenção para melhorar a eficiência de produção em uma unidade de fundição”, onde os autores escolhem a melhor política de manutenção entre manutenção agendada, reativa, corretiva e preditiva. Enquanto que DING & KAMARUDDIN (2015) consideram **segurança, custos, confiabilidade e viabilidade** como critérios de classificação para escolhas de políticas de manutenção.

O modelo proposto por SINK & TUTTLE (1993) estabelece que o desempenho de um sistema organizacional é composto por um complexo inter-relacionamento de vários critérios. Esses critérios, assim denominados: **eficácia, eficiência, produtividade, qualidade, qualidade de vida no trabalho, inovação e lucratividade**, para os centros de lucro, ou **custos** para os centros de custo e organizações sem fins lucrativos. Já o modelo de SLACK (1993) define cinco elementos básicos de desempenho: **qualidade, velocidade, confiabilidade, flexibilidade e custos**. Para o autor, através desses parâmetros, a produção de bens ou de serviços contribui de forma significativa para o desempenho global do sistema e cada um deles incorpora uma vantagem competitiva para a organização.

É possível notar que muitos critérios essenciais, que podem ser usados por pesquisadores e engenheiros para selecionar uma priorização de ações em prol da melhoria da gestão da manutenção, são mencionados na literatura. Neste trabalho, à luz da revisão

bibliográfica, buscando uma visão holística para o sistema organizacional da manutenção, foi selecionado os seguintes critérios: **custos, disponibilidade, qualidade e desempenho**.

O critério **custos** foi escolhido pois, como menciona ROSA (2006), em um mercado competitivo, seja ele industrial, comercial ou de serviços, os custos de manutenção são altamente relevantes para qualquer tomada de decisão. Isso porque os custos de manutenção é um dos principais itens de despesas da empresa, podendo chegar de 15 a 70% dos custos de produção, variando de acordo com o tipo de indústria (SRIVASTAVA et al., 2017). Segundo FAGHIHINIA & MOLLAVERDI (2012), a maioria dos gerentes de manutenção consideram custos como o fator mais importante a ser levado em conta em uma decisão.

Conforme NUNES (2001), os custos de manutenção transformaram as áreas de manutenção em um segmento estratégico para o sucesso empresarial. De modo que, a redução dos custos da manutenção proporciona vantagem competitiva. Além disso, a finalidade da manutenção é a minimização da sua resultante, ou seja, a redução do custo geral de produção. (STEFANINI, 2011).

Para BRANCO FILHO (2008), nenhuma ação de manutenção deve ser tomada se não estiver financeiramente respaldada, considerando os custos de perda de produção, as perdas de matéria-prima, de indenizações por acidentes e poluição ambiental. De um modo geral, é factível utilizar custos como um parâmetro de avaliação de desempenho do gerenciamento da manutenção, uma vez que, normalmente custos elevados representam consequências de uma má gestão (LUXHOJ et al., 1997).

Os critérios **disponibilidade, qualidade e desempenho** foram selecionados baseados nos indicadores que definem o OEE, que como descrito na revisão bibliográfica, é a principal métrica utilizada para medir a eficiência global da manutenção em programas de TPM. Segundo TAJIRI & GOTOH (1992, apud RIIS et al., 1997), a melhoria de um sistema de manutenção pode ser medida pelo seu impacto no OEE. Além disso, as métricas do TPM oferecem um ponto de partida para o desenvolvimento de variáveis que relacionem a medição e o controle de manutenção à estratégia corporativa (RIIS et al., 1997) e os indicadores do OEE são índices que relacionam as metas da organização com a situação atual de seus processos (SOUSA et al., 2016).

Segundo HANSEN (2006), a **disponibilidade** pode ser definida como a capacidade de um item estar em condições de executar sua função requerida em um dado instante ou durante um intervalo de tempo determinado. MONCHY (1989) alega que um equipamento disponível está apto para ser utilizado. A partir desta evidência, a disponibilidade de um ativo é dependente do número de falhas que ocorrem (confiabilidade), da rapidez com que elas são reparadas

(manutenibilidade), dos métodos e processos utilizados no exercício das políticas de manutenção e das atividades de apoio efetivas (logística). Portanto, uma alta disponibilidade garante o máximo de produção e aumenta o lucro da empresa (SAMAT et al., 2011).

O **desempenho** está relacionado à máxima utilização do item, buscando redução ou eliminação de possíveis paradas ou reduções de velocidade (HANSEN, 2006). Segundo COETZEE (1998, apud SAMAT et al., 2011), a partir de vários fatores discutidos na literatura, a eficácia de máquinas e processos são os fatores mais significativos que impactam no desempenho da manutenção. Isso ocorre porque a máquina recebe impactos diretos das atividades de manutenção. Assim, qualquer má conduta durante a manutenção pode ser medida com precisão pelo cálculo do desempenho e da eficácia da máquina durante a operação. Outro fator que afeta o desempenho da manutenção é a eficiência das tarefas, que considera um escopo maior do sistema de manutenção. Incluindo o processo de planejamento, o tipo de técnicas de manutenção escolhidas, alocação de tempo e peças de reposição selecionadas para manutenção (SAMAT et al., 2011).

A **qualidade** é caracterizada como a relação entre a qualidade de produtos conformes e o total de produtos fabricados buscando a ausência de defeitos ou retrabalhos (HANSEN, 2006). É, portanto, o indicador relacionado à ausência de erros na conformação dos produtos. E produtos livres de erros significam processos livres de erros (ROSA, 2006). Dessa forma, as decisões de gestão da qualidade da manutenção podem influenciar significativamente nas tarefas de planejamento e controle da produção, uma vez que devem envolver a eliminação de defeitos no processo global (RIIS, 1992).

De um modo geral, os critérios abordados foram selecionados, pois baseado no pai do TPM, Nakajima, um dos principais objetivos da gestão da manutenção em uma organização deve ser otimizar o desempenho dos processos, maximizando a disponibilidade dos equipamentos, ao mesmo tempo em que diminui o custo e eleva a qualidade.

#### 5.4 DEFINIÇÃO DAS VARIÁVEIS LINGUÍSTICAS

Como explicado no capítulo anterior, as avaliações realizadas na metodologia *Fuzzy TOPSIS* são conduzidas utilizando variáveis linguísticas ao invés de valores absolutos, pois a utilização de termos linguísticos é mais flexível e natural ao raciocínio humano. Uma variável linguística em um modelo de MCDM utiliza palavras ou sentenças em uma linguagem natural ou artificial para descrever o grau de valor das avaliações (DING & KAMARUDDIN, 2015).

Neste trabalho, foram utilizadas as variáveis linguísticas mostradas nas Figuras 30 e 31, para que os membros do comitê de decisores avaliem qualitativamente a importância dos

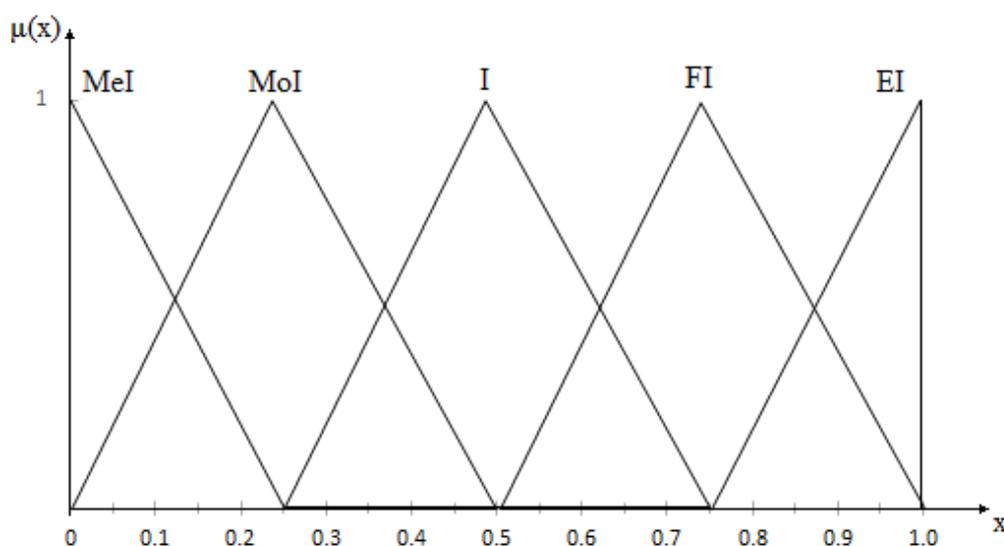
critérios para os objetivos da organização e as correlações dos impactos das alternativas (problemas definidos na auditoria) com os critérios.

Para cada variável linguística é definida uma escala com cinco termos linguísticos. Para a avaliação dos critérios, a escala de classificação *Fuzzy* é descrita como ‘menos importante’ (MeI), ‘moderadamente importante’ (MoI), ‘importante’ (I), ‘fortemente importante’ (FI) e ‘extremamente importante’ (EI). Já a variável linguística para avaliação dos impactos de cada problema com relação aos critérios adotados utiliza os termos linguísticos: ‘muito baixo’ (MB), ‘baixo’ (B), ‘médio’ (M), ‘alto’ (A) e ‘muito alto’ (MA).

A função de pertinência dessas variáveis linguísticas,  $\mu(x)$ , é representada por números *Fuzzy* triangulares, conforme exibido nas Figuras 30 e 31. Vale lembrar que números *Fuzzy* triangulares são equivalentes a números *Fuzzy* trapezoidais, que possuem os valores interiores da quádrupla idênticos. Como mostram as Figuras 30 e 31, o valor da função de pertinência é ‘zero’ quando a classificação não pertence ao termo linguístico, e ‘um’ quando a classificação pertence completamente ao termo linguístico.

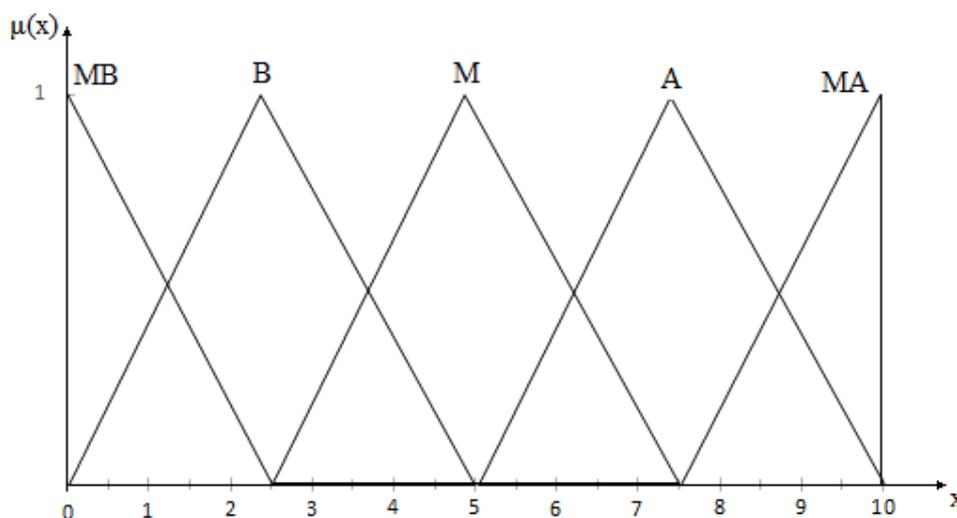
Números *Fuzzy* triangulares foram utilizados pois são comumente usados em vários processos de tomada de decisão em engenharia, como por exemplo, em seleção de fornecedores e tomada de decisões de manutenção. Segundo DING & KAMARUDDIN (2015) e CHEN (2000), ao mesmo tempo que podem ser modelados e interpretados facilmente, são números que captam adequadamente a imprecisão de avaliações qualitativas.

Figura 30 – Escala usada para ponderar os critérios de decisão



Fonte: Adaptado de LIMA JÚNIOR, 2013

Figura 31 – Escala usada para avaliar a correlação entre as alternativas e os critérios de decisão



Fonte: Adaptado de LIMA JÚNIOR, 2013

A escala definida nas Figuras 30 e 31 pode variar, uma vez que as descrições linguísticas dos tomadores de decisão variam dependendo da experiência pessoal de cada um. Por exemplo, o valor do termo linguístico ‘menos importante’ considerado por um tomador de decisão pode variar de ‘um’ a ‘três’, enquanto que o de outro pode variar de ‘zero’ a ‘quatro’. Assim, uma função de pertinência *Fuzzy* que sirva a todos os tomadores de decisão pode ser desenvolvida para melhorar os resultados da avaliação.

Diante do exposto no parágrafo anterior, uma adaptação à definição das variáveis linguísticas pode ser realizada, caso venha a ser considerado pelos tomadores de decisão. Assim como sugere DING & KAMARUDDIN (2015), os decisores podem ser solicitados a fornecer, dentro de um intervalo predeterminado, um valor de  $b_i = X$ , para representar o valor que pertence ao termo linguístico e um par de valores  $(a_i, c_i)$ , para representar o intervalo dos termos linguísticos. E assim, os valores de  $a$ ,  $b$  e  $c$  para os números *Fuzzy* triangulares usados para avaliação dos problemas e classificação dos critérios podem ser agregados usando a equação 5.1. A partir daí os decisores realizam as avaliações de acordo com os intervalos dos termos linguísticos agora desenvolvidos com base na equação 5.1.

$$a = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K a_k \quad b = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K b_k \quad c = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K c_k \quad (5.1)$$

## 5.5 PONDERAÇÃO DA IMPORTÂNCIA RELATIVA DOS CRITÉRIOS

O processo de decisão requer, por parte dos decisores, uma reflexão explícita sobre suas preferências e valores (STEWART & LOSA, 2003). Conforme OLSON et al. (1995), obter uma adequada e consistente ponderação dos critérios é condição essencial para garantir a acurácia dos resultados de qualquer análise multicritério.

A metodologia propõe que os tomadores de decisão, responsáveis por definir quais critérios são mais relevantes para alcance das metas estratégicas da empresa, devem usar a variável linguística mostrada na Figura 30 para atribuição direta dos pesos dos critérios. Utilizando, dessa forma, a experiência e o discernimento dos decisores para determinar uma estrutura de preferências *a priori* consistente com o processo de decisão.

Considerando o que foi exposto anteriormente, pode-se inferir que a importância dos critérios: *custos, disponibilidade, qualidade e desempenho* é dependente da situação e das peculiaridades de cada sistema. Um laboratório de pesquisa e desenvolvimento, por exemplo, dará, certamente, a cada um dos critérios uma importância diferente do que faria um departamento de produção de uma indústria. É possível ainda que um mesmo sistema pondere de forma diferente os mesmos parâmetros, em épocas distintas (ROSA, 2006).

Além disso, é difícil que dois sistemas organizacionais ou gerentes distintos deem o mesmo peso aos mesmos critérios. Por isso, as preferências dos tomadores de decisão devem ser agregadas em um único padrão que represente toda a organização, como está proposto nas equações 4.21 e 4.22 do algoritmo *Fuzzy TOPSIS*.

## 5.6 FORMULAÇÃO E AVALIAÇÃO DAS ALTERNATIVAS DE DECISÃO

A formulação do conjunto de alternativas de decisão para o processo de análise multicritério sugerida nesta dissertação foi dada, como definido anteriormente, a partir do questionário proposto, onde as alternativas de decisão são os problemas encontrados na gestão da manutenção. A listagem desses problemas selecionados foi definida como a composição de todas as questões respondidas no questionário com “d” ou “e”. Pois são respostas que caracterizam práticas do setor de manutenção que precisam de revisão para garantir uma boa gestão da manutenção.

Uma vez definidas as alternativas de decisão, os especialistas que compõem o comitê de decisores devem usar a variável de classificação linguística mostrada na Figura 31 para avaliar a correlação existente entre cada uma das alternativas e cada critério escolhido. A partir

daí as matrizes de decisão de cada decisor são agregadas em uma única matriz que represente todo o comitê, conforme indica o algoritmo, da equação 4.19 a 4.20.

Para fins de aplicação da metodologia no trabalho, foi solicitado a dois especialistas que realizassem a avaliação das alternativas de decisão. A seguir um breve resumo da atuação desses especialistas:

- O especialista A é Engenheiro Eletricista, com mais de trinta anos de experiência prática em projetos, operação, manutenção e gestão da manutenção de equipamentos elétricos de potência, envolvendo tecnologias desenvolvidas desde os anos cinquenta até os dias atuais. Atualmente, Professor Doutor associado ao Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, vinculado às disciplinas de conversão de energia, máquinas elétricas, confiabilidade e manutenibilidade e pesquisas associadas. Coordenador e pesquisador do Grupo de Sistemas Elétricos Mantidos – GSEM, constante da plataforma Lattes. Desenvolvedor de projetos para implementação do método TPM em empresas do setor elétrico brasileiro.
- O especialista B trabalhou 28 anos em empresa de telecomunicações, dos quais 15 anos como chefe do setor de manutenção de sistemas de telecomunicações nas cidades de Recife, Manaus e Natal. Após esse período trabalhou como chefe do setor de sistemas de telefonia e especialista em qualidade de rede. Nos últimos 6 anos atuou como consultor em desenvolvimento de projetos de redes de telecomunicações. Na academia, deu aulas das disciplinas de confiabilidade industrial e laboratório de análise de falhas em curso de especialização em gestão da manutenção e aulas de pesquisa operacional no curso de Administração na UFPE.

Os especialistas A e B, baseados em suas próprias experiências, classificaram a correlação existente entre cada pergunta do questionário (apenas da parte do Anexo A, dado que como será explicado mais adiante, foi a seção do questionário respondido pelas empresas pesquisadas por ROSA (2006), e que serão avaliadas na aplicação da metodologia no próximo capítulo) com os critérios: *custos, disponibilidade, qualidade e desempenho*, como mostram as Tabelas 9 e 10 respectivamente. De posse das respostas das questões do questionário, é possível, a partir das Tabelas 9 e 10, montar as matrizes de decisão (Tabela 11), para cada um dos decisores, que servirão como *input* para o algoritmo *Fuzzy TOPSIS*.

A matriz de decisão, ilustrada na Tabela 11, será composta de  $m$  alternativas de decisão (quantidade de problemas da manutenção) classificadas de acordo com o conjunto de 4 critérios aplicados em questão.  $\tilde{W} = \{\tilde{w}_j, \text{ para } j=1,2,..4\}$  é o conjunto de ponderação do  $j$ -ésimo critério

( $C_j$ ) realizado na etapa anterior. E  $\tilde{x} = \{\tilde{x}_{ij}$ , para  $i=1,2,\dots,m$  e  $j=1,2,\dots,4\}$  são as classificações Fuzzy das alternativas já agregadas, a partir das classificações das Tabelas 9 e 10.

Tabela 9 – Correlação entre as questões do questionário e os critérios do especialista A

Critérios	Termos Linguísticos	TÓPICOS DO QUESTIONÁRIO							
		Aspec. Organizacionais da Manut.	Prog. de Treinamentos em Manut.	Ord. De Serviço da Manut.	Planej. e Progr. da Manut.	Manut. Preventiva	Compras e Estoque de Manut.	Relatórios Gerenciais da Manut.	Automação da Manut.
Custos	MB								
	B	1/2/5/6/7/8	3	todas	1/2/5/7/9/10	7/9	6/8/10	2/9	3/4/6
	M	9	4		3/8	10	2/3/7	1/3/4/5/7	7/9/10
	A	3/4/10	1/2/5/6/7/8/9/10		4/6	1/2/3/4/5/6/8	1/4/5/9	6/8/10	1/2/5/8
	MA								
Disponibilidade	MB								
	B	1/4/5/7/8/9/10	todas		5/7			10	1/7
	M	2/3/6			3/9/10	7		1/2/6	2/6/8
	A			todas	1/2/4/6/8	1/2/3/4/5/6/8/9/10	todas	3/4/5/7/8/9	3/4/5/9/10
	MA								
Qualidade	MB								
	B	1/2/6	3						
	M	2/4/5/7/8/9/10	7/8/9/10	todas	1/9	1/3/5/6/8	1/2/3/9/10	8	1/2/6
	A	3	1/2/4/5/6		2/3/4/5/6/7/8/10	2/4/7/9/10	4/5/6/7/8	1/2/3/4/5/6/7/9/10	3/4/5/7/8/9/10
	MA								
Desempenho	MB								
	B	1/3/4/5/9/10	1/2/3/4/6/7/8/9/10		7		1/5/6/9	9/10	1/6/7
	M	2/6/7/8	5		3/5/6/9/10	3/4/5/7/9	2/3/4/7/10	1/2/6/7	2/4/8
	A			todas	1/2/4/8	1/2/6/8/10	8	3/4/5/8	3/5/9/10
	MA								

Fonte: O Autor.

Tabela 10 – Correlação entre as questões do questionário e os critérios do especialista B

Critérios	Termos Linguísticos	TÓPICOS DO QUESTIONÁRIO							
		Aspec. Organizacionais da Manut.	Prog. de Treinamentos em Manut.	Ord. De Serviço da Manut.	Planej. e Progr. da Manut.	Manut. Preventiva	Compras e Estoque de Manut.	Relatórios Gerenciais da Manut.	Automação da Manut.
Custos	MB								
	B	2		8		10			
	M	5	4/6/7	1/2/3/7/9	7	7	5/8	1/8/9/10	1/8
	A	1/3/4/6/7/8/9/10	1/2/3/5/8/9/10	4/5/6/10	1/2/3/4/5/6/8/9/10	1/2/3/4/5/6/8/9	1/2/3/4/6/7/9/10	2/3/4/5/6/7	2/3/4/5/6/7/9/10
	MA								
Disponibilidade	MB								
	B	2				10			
	M	1	4/6	1/2/3/7/8/9	7	6/7	8	1/2/5/6/9/10	
	A	3/4/5/6/7/8/9/10	1/2/3/5/7/8/9/10	4/5/6/10	1/2/3/4/5/6/8/9/10	1/2/3/4/5/8/9	1/2/3/4/5/6/7/9/10	3/4/7/8	todas
	MA								
Qualidade	MB								
	B	2		8		8/10			
	M	7/8	1/2/4/7	1/2/3/7	7	6/7	6/7/8/9	8/9/10	
	A	1/3/4/5/6/9/10	3/5/6/8/9/10	4/5/6/9/10	1/2/3/4/5/6/8/9/10	1/2/3/4/5/9	1/2/3/4/5/10	1/2/3/4/5/6/7	todas
	MA								
Desempenho	MB								
	B	2		8		10		10	
	M		4	1/2/3/7	7	6/7/8	8/9/	4/6/8/9	4/5/9
	A	1/3/4/5/6/7/8/9/10	1/2/3/5/6/7/8/9/10	4/5/6/9/10	1/2/3/4/5/6/8/9/10	1/2/3/4/5/9	1/2/3/4/5/6/7/10	1/2/3/5/7	1/2/3/6/7/8/10
	MA								

Fonte: O Autor.

Tabela 11 – Matriz de decisão *Fuzzy*

Critérios para alcance das metas da empresa	$C_1$	$C_j$	$\dots$	$C_4$
Ponderação dos critérios	$\tilde{w}_1$	$\tilde{w}_2$	$\dots$	$\tilde{w}_4$
Alternativas de Decisão (problemas da Manutenção)				
$A_1$	$\tilde{x}_{11}$	$\tilde{x}_{1j}$	$\dots$	$\tilde{x}_{14}$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
$A_i$	$\tilde{x}_{i1}$	$\tilde{x}_{ij}$	$\dots$	$\tilde{x}_{i4}$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
$A_m$	$\tilde{x}_{m1}$	$\tilde{x}_{mj}$	$\dots$	$\tilde{x}_{m4}$

Fonte: Adaptado de AL-NAJJAR &amp; ALSYOUF (2003)

## 5.7 APLICAÇÃO DO ALGORITMO E OBTENÇÃO DE RESULTADOS

De posse da matriz de decisão estabelecida na seção anterior (Tabela 11), é possível realizar a simulação do algoritmo proposto na seção 4.5, através do modelo computacional desenvolvido na linguagem de programação do MATLAB® (Apêndice B). Como explicado anteriormente, o resultado da simulação produzirá um *ranking* dos problemas da manutenção que causam maior restrição na obtenção das metas da empresa, levando à elaboração do “perfil de manutenção” em relação à estratégia corporativa. De forma que, o resultado da metodologia possa ilustrar claramente à gerência onde os esforços da manutenção deveriam estar sendo alocados, se comparado ao que é recomendado pela literatura, e, portanto, sugerir mudanças nas ações de gerenciamento.

Com a obtenção dos resultados da metodologia, o aperfeiçoamento do desempenho da manutenção pode ser mais significativo, ou executado em um menor período de tempo, uma vez que os problemas chaves seriam direcionados para a melhoria, de acordo com os objetivos do negócio. Para o desenvolvimento de medidas capazes de solucionar esses problemas, recomenda-se sessões de *brainstorming* (tempestade cerebral) com os especialistas envolvidos nesse modelo e todos aqueles relacionados ao gerenciamento das atividades de manutenção.

O *brainstorming* é traduzido como tempestade cerebral pois é uma ferramenta aplicada para que as pessoas apontem todas ideias que surgem à mente sobre o tema escolhido. De acordo com SELEME & STADLER (2010, apud DUPPRE et al., 2015), é possível que todos envolvidos na reunião opinem com ideias ou soluções, de modo que o objetivo é utilizar a diversidade de pensamentos e experiências para gerar soluções inovadoras. Com isso, espera-se reunir o maior número possível de ideias, visões, propostas e possibilidades que levem a um denominador comum e eficaz para solucionar problemas e entraves que impedem um projeto de seguir adiante. Os autores afirmam que existem três fases nesta ferramenta: a primeira é aquela em que as ideias são geradas, a segunda é destinada à realização dos esclarecimentos relativos aos processos, e a terceira presta-se à avaliação das ideias propostas.

Para elaboração do plano de ações definidas na fase do *brainstorming* algumas ferramentas de qualidade, tais como: 5W2H, diagrama de Ishikawa e 5 porquês podem ser de fundamental valia para encontrar um direcionamento adequado. Essas ferramentas são rapidamente descritas nos parágrafos seguintes. A Tabela 12 evidencia um resumo da finalidade dessas ferramentas e a Tabela 13 mostra um modelo de aplicação do *checklist* de atividades do 5W2H.

Tabela 12 - Resumo das utilidades de algumas ferramentas da qualidade

<b>Ferramenta</b>	<b>O que é?</b>	<b>Para que utilizar?</b>
5W2H	É um checklist de atividades desenvolvido por colaboradores.	Organizar e obter a visão de controle de uma atividade, processo ou plano de ação.
5 Porquês	Consiste em questionar sucessivamente 5 vezes o porquê de um problema ocorrer.	Encontrar a causa raiz de um problema ou defeito.
Diagrama de Ishikawa (Diagrama de Causa e Efeito)	Um diagrama que ajuda a levantar as causas-raízes de um problema, analisando todos os fatores que envolvem a execução do processo.	Para ampliar a visão das possíveis causas de um problema, enxergando-o de maneira mais sistêmica e abrangente;

Fonte: Adaptado de HOSKEN (2005)

Tabela 13 - Modelo do plano de ação (5W2H)

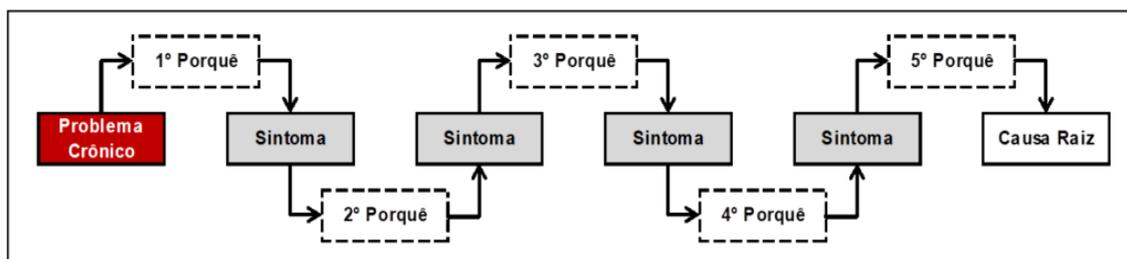
<b>What</b>	O que será realizado (etapas)?
<b>Who</b>	Quem realizará as tarefas (responsabilidade)?
<b>Why</b>	Por que deve ser executada a tarefa (justificativa)?
<b>Where</b>	Onde cada etapa será executada (local)?
<b>When</b>	Quando cada uma das tarefas deverá ser executada (tempo)?
<b>How</b>	Como deverá ser realizada cada tarefa/etapa (método)?
<b>How Much</b>	Quanto custará cada tarefa/etapa (valor)?

Fonte: Adaptado de HOSKEN (2005)

A ferramenta 5W2H pode ser utilizada para detectar falhas que atrapalham a conclusão correta de processos, cuja proposta basicamente consiste em obter respostas, através dos questionamentos mostrados na Tabela 13, para esclarecer e estruturar as tarefas a fim de facilitar a resolução do problema, afirmam SELEME & STADLER (2010, apud DUPPRE et al., 2015). Desta forma, neste estudo, a sugestão da utilização dessa ferramenta tem a finalidade de buscar um detalhamento completo das atividades necessárias a solução dos problemas prioritários.

A ferramenta dos 5 porquês, ilustrada na Figura 32, consiste em identificar a causa raiz do problema, através de perguntas que estão interligadas onde a resposta da pergunta anterior gera a questão seguinte. STICKDORN & SCHNEIDER (2004 apud DUPPRE et al., 2015) corroboram que usualmente, se encontra a causa raiz em no máximo cinco perguntas, sendo importante que todas as respostas sejam claras e precisas. Neste estudo, esta ferramenta se caracteriza em localizar as possíveis perdas/falhas existentes nas atividades e processos da manutenção, apontadas através dos problemas encontrados.

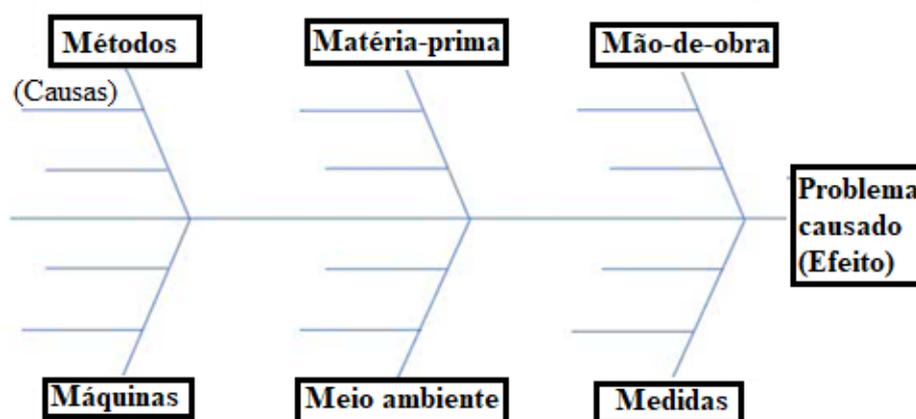
Figura 32 – Diagrama ilustrativo da ferramenta dos 5 porquês.



Fonte: MOURA (2017)

O diagrama de Ishikawa ou diagrama de causa e efeito é conhecido como espinha de peixe. Esta ferramenta é desenhada para ilustrar as causas que afetam um processo. Estas causas podem ser agrupadas em categorias, tais como: Métodos, Matéria-prima, Mão-de-obra, Máquinas, Meio ambiente e Medidas. Por meio destes grupos, as causas podem ser divididas em vários níveis até que o problema seja solucionado (LINS, 1993). Este diagrama pode ser visto na Figura 33.

Figura 33 – Diagrama de Ishikawa (Causa e Efeito)



Fonte: Adaptado de SANTOS (2013)

## 5.8 DIFICULDADES PARA IMPLEMENTAÇÃO DO MODELO DE PROCESSO DECISÓRIO

Como vislumbrado nas seções anteriores ao longo deste Capítulo, o modelo de processo decisório proposto, na maioria de suas etapas, necessita do apoio da alta administração para que sua implementação possa alcançar o sucesso almejado. Pois, é a partir da participação ativa da diretoria que a metodologia será capaz de realmente conectar os esforços de sua aplicação ao negócio da empresa. Porém, assim como ocorre na implementação do TPM nas empresas, como ressaltado em PAI et al. (2018), a falta do engajamento da alta gerência é um dos principais

fatores que comprometem a sua implantação, e pode ser aqui também um obstáculo para a real efetivação do modelo apresentado.

Outro fator que pode vir a afetar os resultados do modelo é a inconsistência na obtenção do real desempenho da manutenção no processo de auditoria, caso não haja a integração adequada da visão dos vários níveis hierárquicos da organização, assim como descrito na seção 5.1. Por ocorrência, por exemplo, de deficiências na comunicação e partilha dos problemas que afetem a gestão da manutenção, de forma que as informações fornecidas por cada um dos níveis sejam incoerentes ou contraditórias. Ou ainda, inconsistências relacionadas à diversidade de perspectivas de pessoas com diferentes habilidades, experiências, idade, qualificações, salários, caso os objetivos dos diversos setores não estejam alinhados com os objetivos da organização.

Além do citado nos parágrafos acima, um aspecto que também pode ser limitante para a aplicação do modelo proposto, conforme ressaltado por NASCIMENTO (2017), é que os decisores nem sempre dispõem das informações necessárias para um julgamento adequado sobre a relação entre os problemas da manutenção com os critérios para alcance dos objetivos da empresa. Entretanto, essa limitação decorrente da inexistência de conhecimento especializado pode ser superada contratando, por exemplo, consultoria de especialistas, que possa dar um parecer contextualizado com a situação da empresa. O que pode, contudo, acarretar em custos extras, que as organizações não estejam dispostas em arcar.

Como mencionado neste capítulo, a obtenção da eficácia do modelo decisório está totalmente condicionada ao direcionamento integrado das avaliações do comitê de decisores às metas da organização. Entretanto, assim como ressalta ALMEIDA (2013), muitas empresas não têm metas e estratégias corporativas bem definidas, tornando supérflua a utilização deste modelo. Nesse caso, antes da aplicação do modelo, o setor da manutenção pode definir e estruturar suas próprias metas e disseminá-las para a organização.

De um modo geral, apesar da literatura revelar o potencial de modelos matemáticos no ambiente de decisão da gestão da manutenção, ainda existem dificuldades na implementação dos mesmos nas organizações brasileiras (FERREIRA, 2008). Essa limitação está também relacionada, assim como descreve REZENDE et al. (2015), ao fato de a formação da maioria dos gerentes ser mais técnica (mecânica, metalurgia, elétrica, etc), ou seja, com muito conhecimento técnico e pouca bagagem gerencial. Ainda segundo NASCIMENTO (2017, apud STONER & FREEMAN, 1999), o uso de técnicas de MCDM esbarra em dois fatores limitantes a saber: a percepção dos gestores em sentirem que os modelos baseados em ferramental matemático são complicados demais para uso imediato e o fato de julgarem inadequados para lidar com valores psicológicos e aspectos comportamentais das atividades.

Assim como identificou FERREIRA (2008) em sua pesquisa, a gestão da manutenção é uma área que apresenta uma grande lacuna entre teoria e prática. No sentido de que as empresas, em destaque aqui para as brasileiras, não aplicam os modelos propostos na literatura para tratar os problemas de manutenção. Ou seja, a prática não acompanha o desenvolvimento da teoria de modelos para a gestão da manutenção. Na maioria das vezes, porque existe a tendência de comodismo nas organizações, que geralmente não aderem a mudanças de atitudes, ou acham que o ganho obtido através da implantação de modelos de gestão é pequeno. Pois, analisam apenas aspectos tangíveis, não mensurando os ganhos intangíveis para a organização, conforme ressaltado por BARTZ et al. (2012). Um exemplo forte que caracteriza esse tipo de tendência é um baixo índice de empresas que obtêm sucesso com a implantação do TPM (BARTZ et al., 2012, apud AHUJA & KHAMBA, 2008; PAI et al., 2018).

No entanto, apesar dos possíveis fatores limitantes apresentados para implementação de um modelo, como o proposto nesta dissertação, a utilização de métodos multicritérios no apoio à decisão vem ganhando espaço nas organizações (ALMEIDA, 2013). Segundo OAKLAND (1994), isso deve-se ao fato de que o planejamento embasado em análise multicritérios, tem como fundamento a definição de metas e variáveis bem definidas, permitindo uma decisão mensurada, que auxilia a construção de uma plataforma de gestão e controle com mais qualidade.

## 6 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA – EXEMPLOS NUMÉRICOS

Como mencionado no Capítulo 1, o questionário originalmente elaborado neste trabalho não foi respondido pelas empresas solicitadas para participação desta pesquisa. Entretanto, na pesquisa bibliográfica realizada, foi encontrado em ROSA (2006) um questionário respondido por três empresas. O mesmo foi desenvolvido por MIRSHAWKA & OLMEDO (1993) e corresponde a cerca de 50% do total de questões do questionário inicialmente criado. Portanto, para fins de exemplificação da metodologia proposta, utilizou-se os resultados desses questionários aplicados por ROSA (2006), que se encontram no Anexo A. Entretanto, vale ressaltar que o método de avaliação dos resultados, aqui proposto, vai além do que foi realizado por ROSA (2006), conforme será visto no decorrer deste capítulo. Tendo em vista que a avaliação de ROSA (2006), através do questionário, não conduz à determinação de estratégias que ofereça apoio à decisão gerencial.

As empresas escolhidas para participar dos estudos de caso realizados por ROSA (2006), todas com forte vinculação de seus produtos à engenharia elétrica, eram consideradas em 2004 as três maiores empresas industriais produtoras de bens de consumo do distrito industrial de Itajubá no estado de Minas Gerais, em termos de faturamento. Além do critério do maior faturamento, a escolha das empresas pelo autor foi devido a características tais como: dinamismo, líder do mercado em seu segmento e constância no seu processo de evolução. As empresas selecionadas foram:

- Areva Transmissão & Distribuição de Energia Ltda. (Areva T&D Brasil);
- Imbel - Fábrica de Itajubá;
- Mahle Componentes de Motores do Brasil Ltda., Itajubá.

### 6.1 APRESENTAÇÃO DAS EMPRESAS

As descrições das empresas a seguir foram retiradas da pesquisa realizada por ROSA (2006). Portanto os detalhes apresentados se aterão apenas ao histórico e momento da empresa na época da pesquisa do autor, que se deu entre meados de 2004 e meados de 2005.

#### 6.1.1 AREVA T&D BRASIL

- **Momento em que se encontrava a empresa na época da pesquisa**

No início de 2004, a empresa que até então denominava-se ALSTOM Transmissão & Distribuição de Energia Ltda, tornou-se uma divisão da AREVA, especialista mundial no setor

energético, com presença marcante em vários países, denominando-se AREVA Transmissão & Distribuição de Energia Ltda. (AREVA T&D Brasil).

A AREVA T&D Brasil de Itajubá contava em 2004 com 66.000 m<sup>2</sup> de área total, 500 colaboradores e 17.000 m<sup>2</sup> de área construída para a fabricação de transformadores para instrumentos de média à extra tensão, reatores, bobinas de bloqueio, disjuntores e para-raios. A AREVA em 2004 era uma empresa líder nesse segmento, além de apresentar boa atuação no mercado mundial, estando presente nos cinco continentes. A empresa tinha sua reputação conhecida pela experiência, qualidade dos seus serviços de suporte técnico e comercial e na disponibilidade de atendimento aos seus clientes.

Até 2004, a empresa possuía um Sistema de Gestão da Qualidade certificado conforme a norma ISO 9001, desde 1994, e um Sistema de Gestão Ambiental certificado conforme norma ISO 14001 desde 2000. Em 2004 estava em fase de implementação do Sistema de Gestão de Saúde Ocupacional e Segurança com base na especificação OHSAS 18001, com certificação prevista para 2006. O que confirma a preocupação da empresa, nessa época, de fabricar produtos de qualidade que atendessem às necessidades dos clientes, através da atuação de seus colaboradores de modo seguro, saudável e com responsabilidade ambiental.

### **6.1.2 IMBEL – Fábrica de Itajubá**

- **Momento em que se encontrava a empresa na época da pesquisa**

A Industria de Material Bélico do Brasil (IMBEL), empresa pública de direito privado vinculada ao Ministério da Defesa, tinha sua sede na cidade de Piquete (SP) e constava em 2004 das seguintes cinco fábricas militares:

- Fábrica da Estrela no município de Magé - RJ;
- Fábrica Presidente Vargas na cidade de Piquete - SP;
- Fábrica de Juiz de Fora;
- **Fábrica de Itajubá;**
- Fábrica de Material de Comunicações e Eletrônica na cidade do Rio de Janeiro;

O Decreto nº 5338, de 12 de janeiro de 2005 publicou o novo Estatuto Social da IMBEL, que autorizava além da atividade principal da IMBEL, que é a produção de material de defesa, a prestação de serviços nas áreas de pesquisa e desenvolvimento, projetos, construção, logística e cartografia. Para a consecução desses objetivos, a IMBEL iniciou, nesse período, uma reestruturação organizacional por meio da implementação de uma nova estratégia de atuação

empresarial e de melhoria de gestão, de forma a aumentar o faturamento, a incrementar a competitividade e reduzir custos.

Segundo ROSA (2006), depois de acertar as contas com o parcelamento de suas dívidas estaduais e federais, a IMBEL começou a colocar em prática o seu plano de revitalização. A política de crescimento da empresa estava fundamentada no incremento da venda de produtos militares com aplicação civil e no desenvolvimento de parcerias estratégicas. Nessa época, a IMBEL exportava 30% da sua produção, envolvendo armas leves e munições, para os Estados Unidos da América, América Latina e o Sudeste Asiático.

### 6.1.3 Mahle Componentes de Motores do Brasil

- **Momento em que se encontrava a empresa na época da pesquisa**

Os principais componentes automotivos fabricados pela MAHLE são: pistão, bielas, camisas, anéis, bronzinas, buchas, trem de válvula, filtros, radiadores, condensadores, compressores e ar condicionado além de componentes para motores. Segundo ROSA (2006), no tempo da pesquisa, a empresa possuía oito fábricas instaladas no Brasil, nas cidades de Mogi-Guaçu (SP), Indaiatuba (SP), São Paulo (SP), São Bernardo do Campo (SP), Mauá (SP) e Itajubá (MG). A empresa contava, ainda, com um Centro de Tecnologia em São Paulo (SP) além de um Centro de Distribuição, em Limeira (SP), que atendia a todo o mercado de reposição nacional e do exterior, especialmente a América Latina, África e Oriente Médio. Em Itajubá, a MAHLE Componentes de Motores Ltda. possuía uma área total de 260.000 m<sup>2</sup> com uma área construída de 50.200 m<sup>2</sup> e cerca de 2.200 funcionários.

Segundo ROSA (2006), a MAHLE fornecia produtos para as mais conceituadas montadoras, como Volkswagen, Audi, BMW, John Deere, Porsche, Opel, Toyota, Honda, Ford, General Motors, DaimlerChrysler, Fiat, Renault, Peugeot, MWM, Cummins, Scania, Volvo, International, Caterpillar e Perkins, entre outras, e 50% de sua produção era exportada para montadoras nos Estados Unidos e Europa.

O grupo MAHLE Brasil, ao período da pesquisa, já vinha conquistando, ao longo sua história, a conformidade com padrões normativos de qualidade e de meio ambiente. O histórico das certificações da planta MAHLE Componentes de Motores do Brasil Ltda. até então, pode ser observado a seguir:

- 2003 – ISO/TS 16949:2002
- 2003 – ISO-14001:1996
- 2002 - ISO/TS 16949:1999

- 1997 - QS 9000
- 1994 - ISO 9001

De um modo geral, as três empresas, segundo o trabalho realizado por ROSA (2006), atuavam simultaneamente no mercado nacional e internacional, sendo cada uma delas líder em seu segmento. As organizações apresentavam evidente dinamismo, inovação e constante crescimento, gerando novas soluções nos mercados em que atuavam, produzindo riquezas e novas tecnologias. Além disso, configuravam, à época, empresas de porte considerável no Distrito Industrial de Itajubá, conforme pode ser visto na Tabela 14.

Tabela 14 – Comparação das empresas pesquisadas por ROSA (2006)

EMPRESAS	ÁREA TOTAL [M <sup>2</sup> ]	ÁREA CONSTRUÍDA [M <sup>2</sup> ]	FUNCIONÁRIOS
MAHLE	260.000	50.200	2.200
IMBEL-FI	1.000.000	28.000	1.000
AREVA	66.000	17.500	500

Fonte: ROSA (2006)

## 6.2 EXEMPLOS NUMÉRICOS

De posse das respostas das empresas para o questionário (Anexo A) foi possível simular três exemplos numéricos para o algoritmo desenvolvido. Utilizando, como mencionado anteriormente, os problemas da manutenção como as alternativas de decisão, e identificados a partir das respostas “**d**” ou “**e**” às questões do questionário aplicado. E os critérios de base, para compor o processo de MCDM, conforme estabelecido na seção 5.3.

### 6.2.1 Ponderação dos Critérios

Como elucidado previamente, foram utilizados os questionários respondidos pelas empresas entrevistadas por ROSA (2006). Assim sendo, e considerando também a questão temporal, não foi possível saber qual a importância aos critérios, definidos no Capítulo 5, seria dada pela alta direção das mesmas. Portanto, apenas a título de exemplo, os critérios *custos*, *disponibilidade*, *qualidade e desempenho* foram ponderados igualmente, utilizando o termo linguístico ‘Extremamente Importante’ (EI). Contudo, quando se tratar de empresas do setor elétrico brasileiro, a presente dissertação propõe uma recomendação, que consta no Apêndice C, para uma ponderação mais realista dos critérios apresentados.

De modo geral, como já explicado anteriormente, a importância de cada um desses critérios de escolha é particularmente intrínseca a cada tipo de organização, à opinião dos decisores e ao momento em que se encontra a empresa. Portanto, é uma classificação muito particular à empresa que utilizará essa metodologia para seus processos de tomada de decisão. Em suma, uma ponderação adequada dos critérios traz maior precisão em uma análise multicritério para tomada de decisão (OLSON et al., 1995), que no caso do trabalho, trata-se da priorização dos problemas da manutenção que possuem maior correlação com o impedimento no alcance das metas da empresa.

### 6.2.2 Matriz de Decisão

Para cada uma das empresas apresentadas: AREVA, IMBEL e MAHLE, estão mostradas nas Tabelas 15, 16 e 17, respectivamente, as matrizes de decisão com as correlações existentes entre os problemas extraídos do questionário (Anexo A) e os critérios de decisão definidos neste trabalho. E as correlações foram extraídas das classificações realizadas pelos especialistas, que se encontram nas Tabelas 9 e 10.

Tabela 15 – Matriz de Decisão para a AREVA

Problemas da Manutenção		CRITÉRIOS DE DECISÃO							
		CUSTO		DISPON.		QUAL.		DESEMP.	
		EA	EB	EA	EB	EA	EB	EA	EB
Aspectos Organizacionais da Manutenção	A1) Ausência de organograma da manutenção.	B	A	B	M	B	A	B	A
	A2) Cadernos de Encargos (job descriptions) estão disponíveis para menos que 50% de todas as posições da manutenção	B	B	M	B	B	B	M	B
	A3) Não existe planejador da manutenção ou então uma relação inadequada entre planejador /funcionários diretos da manutenção.	A	A	B	A	M	A	B	A
Progr. de Trein. da Manut.	A4) Não há programa de treinamento para planejadores.	A	A	B	A	A	M	B	A
Manut. Preventiva	A5) Apenas entre 40 a 60% do programa de MP é checada anualmente, comparando resultados reais com as estimativas de tempo e material.	B	A	A	A	A	A	M	A



A23) Sobre o nível de interligação dos lançamentos de horas de manutenção e a folha de pagamentos no departamento de pessoal, a manutenção gera lista especial só para atender o departamento de pessoal e vice-versa	B	A	M	A	M	A	B	A
A24) As informações de custos de manutenção chegam a contabilidade da empresa por documentos manuais, só para atender ao sistema de custos	M	A	B	A	A	A	B	A

Legenda: **B**- Baixo; **M**- Médio; **A**- Alto; **EA**- Especialista A; **EB** – Especialista B

Fonte: O Autor.

Tabela 16 – Matriz de Decisão para a IMBEL

Problemas da Manutenção		CRITÉRIOS DE DECISÃO							
		CUSTO		DISPON.		QUAL.		DESEMP.	
		EA	EB	EA	EB	EA	EB	EA	EB
Aspectos Organizacionais da Manutenção	A1) Ausência de organograma da manutenção.	B	A	B	M	B	A	B	A
	A2) 1 supervisor para mais de 16 funcionários diretos da manutenção.	A	A	M	A	A	A	B	A
	A3) Não existe planejador da manutenção ou então uma relação inadequada entre planejador /funcionários diretos da manutenção.	A	A	B	A	M	A	B	A
	A4) Qualidade e quantidade sofríveis das ferramentas e equipamentos de manutenção.	M	A	B	A	M	A	B	A
	A5) Menos de 50 % do pessoal de manutenção que recebe bônus baseado no desempenho do grupo/empresa.	A	A	B	A	M	A	B	A
Programas de Treinamento em Manutenção	A6) Poucos supervisores são treinados ou não existe treinamento para supervisores.	A	A	B	A	A	M	B	A
	A7) Não há programa de treinamento para planejadores.	A	A	B	A	A	M	B	A
	A8) Treinamento formal é ministrado para apenas alguns especialistas sem frequência definida.	A	M	B	M	A	A	B	A
OS da Manutenção	A9) Menos que 25% das OS é conferida pelo supervisor nos aspectos de qualidade e efetiva conclusão do serviço.	B	M	A	M	M	M	A	M
	A10) Menos que 20% das OS é gerada por serviços de MP.	B	M	A	M	M	A	A	A
Planejamento e Programação da Manutenção	A11) Reuniões de manutenção com o pessoal de produção são realizadas com uma frequência indefinida.	A	A	A	A	A	A	M	A
	A12) Menos que 40% de acerto do planejamento comparando tempos reais com estimados.	B	A	M	A	M	A	M	A

MP	A13) Menos que 40% dos programas de MP é avaliada anualmente contra dados históricos reais conseguidos para assegurar sua eficácia.	A	A	A	A	A	A	M	A
	A14) A frequência de inspeção de MP é baseada em somente em intervalos de calendário.	A	A	A	M	M	M	A	M
	A15) Menos que 40% do programa de MP é checada anualmente, comparando resultados reais com as estimativas de tempo e material.	B	A	A	A	A	A	M	A
Compras e Estoque de Manutenção	A16) Menos que 50% das vezes o material requisitado é encontrado no estoque da manutenção.	A	A	A	A	M	A	B	A
	A17) Menos que 40% dos itens em estoque dispõe de uma lista atualizada na manutenção.	M	A	A	A	M	A	M	A
	A18) Menos que 70% dos materiais em estoque dispõe de uma localização cartesiana (corredor – prateleira).	A	M	A	A	A	A	B	A
	A19) A lista para repor estoque é enviada para o departamento de compras sem frequência definida.	B	M	A	M	A	M	A	M
Relatórios Gerenciais da Manutenção	A20) Menos que 40% de vezes os relatórios gerenciais de manutenção chegam ao destinatário dentro de um dia da emissão.	M	M	M	M	A	A	M	A
	A21) Menos que 40% do número de relatórios emitidos pela manutenção são avaliados pelo gerente de manutenção como úteis, realmente atingindo as pessoas certas.	B	A	M	M	A	A	M	A
	A22) Não existem relatórios disponíveis na manutenção gerados por equipamentos importantes.	M	A	A	A	A	A	A	A
	A23) Não existem relatórios de MP suficientes disponíveis na manutenção.	M	A	A	A	A	A	A	M
	A24) Não existem relatórios de planejamento emitidos pela manutenção.	A	A	M	M	A	A	M	M
	A25) Não existem relatórios de programação suficientes disponíveis na manutenção.	M	A	A	A	A	A	M	A
	A26) Não existem relatórios de estoque gerados pela manutenção.	A	M	A	A	M	M	A	M
	A27) Não existem relatórios de compra gerados pela manutenção.	B	M	A	M	A	M	B	M
	A28) Não existem relatórios administrativos gerados pela manutenção	A	M	B	M	A	M	B	B

<b>Automação da Manutenção</b>	<b>A29)</b> Não existem interligações (constantes atritos) entre as informações da manutenção e as do planejamento da produção	B	A	A	A	A	A	M	M
	<b>A30)</b> Menos que 70% dos sistemas automatizados existentes na manutenção, principalmente as interligações com outros sistemas, apresentam precisão e confiabilidade ou inexistente automação	A	A	A	A	A	A	A	M
	<b>A31)</b> A manutenção apropriada as horas, independentemente das horas usadas para pagamento	B	A	M	A	M	A	B	A

Legenda: **B**- Baixo; **M**- Médio; **A**- Alto; **EA**- Especialista A; **EB** – Especialista B

Fonte: O Autor.

Tabela 17 – Matriz de Decisão para a MAHLE

<b>Problemas da Manutenção</b>		<b>CRITÉRIOS DE DECISÃO</b>							
		<b>CUSTO</b>		<b>DISPON.</b>		<b>QUAL.</b>		<b>DESEMP.</b>	
		<b>EA</b>	<b>EB</b>	<b>EA</b>	<b>EB</b>	<b>EA</b>	<b>EB</b>	<b>EA</b>	<b>EB</b>
<b>Aspec. Organ. da Manut.</b>	<b>A1)</b> 1 supervisor para mais de 16 funcionários diretos da manutenção.	A	A	M	A	A	A	B	A
<b>Progr. de Trein. da Manut.</b>	<b>A2)</b> Todo treinamento é feito no serviço real	A	A	B	A	M	M	B	A
<b>O. S. da Manut.</b>	<b>A3)</b> Apenas 25% das OS é conferida pelo supervisor nos aspectos de qualidade e efetiva conclusão do serviço.	B	M	A	M	M	M	A	M
<b>Planej. e Program. da Manut.</b>	<b>A4)</b> Reuniões de manutenção com o pessoal de produção são realizadas diariamente	A	A	A	A	A	A	M	A
	<b>A5)</b> Menos que 40% de acerto do planejamento comparando tempos reais com estimados.	B	A	M	A	M	A	M	A
<b>MP</b>	<b>A6)</b> Menos que 40% dos programas de MP é avaliada anualmente contra dados históricos reais conseguidos para assegurar sua eficácia.	A	A	A	A	A	A	M	A
	<b>A7)</b> O tempo médio para concluir uma inspeção completa de MP em um equipamento importante é menos que 2 horas	A	A	A	A	M	B	A	M
<b>Autom. Da Manut.</b>	<b>A8)</b> A manutenção apropriada as horas, independentemente das horas usadas para pagamento	B	A	M	A	M	A	B	A

Legenda: **B**- Baixo; **M**- Médio; **A**- Alto; **EA**- Especialista A; **EB** – Especialista B

Fonte: O Autor.

Essas matrizes de decisão foram então computadas usando o modelo de simulação computacional desenvolvido no MATLAB®, que consta no Apêndice B, e os resultados das simulações para cada uma das empresas estão apresentados na seção a seguir. A seção 6.4 apresenta os comentários a respeito dos resultados da aplicação do algoritmo, para cada uma das empresas, bem como recomendações para mitigação dos problemas, priorizados pelo mesmo.

### 6.3 APLICAÇÃO E RESULTADOS DO ALGORITMO

Nesta seção, são apresentados os resultados da aplicação do algoritmo desenvolvido para as três empresas do estudo.

#### 6.3.1 AREVA

A matriz de decisão com números *Fuzzy* unificada, com as opiniões dos dois especialistas, segundo as equações 4.19 e 4.20 é mostrada na Tabela 18. As alternativas de decisão (**A1 a A24**) correspondem aos problemas identificados na Tabela 15 e os critérios (**C1 a C4**), estabelecidos na seção 5.3, são os parâmetros: *custos*, *disponibilidade*, *qualidade e desempenho* respectivamente. O vetor *Fuzzy* correlato a ponderação dos critérios é apresentado na Tabela 19, onde **W** corresponde ao peso *Fuzzy* ‘Extremamente Importante (EI)’.

Tabela 18 – Matriz de decisão *Fuzzy* correspondente à unificação das opiniões dos dois especialistas

	C1	C2	C3	C4
<b>A1</b>	[0 5 5 10]	[0 3.75 3.75 7.5]	[0 5 5 10]	[0 5 5 10]
<b>A2</b>	[0 2.5 2.5 5]	[0 3.75 3.75 7.5]	[0 2.5 2.5 5]	[0 3.75 3.75 7.5]
<b>A3</b>	[5 7.5 7.5 10]	[0 5 5 10]	[2.5 6.25 6.25 10]	[0 5 5 10]
<b>A4</b>	[5 7.5 7.5 10]	[0 5 5 10]	[2.5 6.25 6.25 10]	[0 5 5 10]
<b>A5</b>	[0 5 5 10]	[5 7.5 7.5 10]	[5 7.5 7.5 10]	[2.5 6.25 6.25 10]
<b>A6</b>	[5 7.5 7.5 10]	[5 7.5 7.5 10]	[2.5 6.25 6.25 10]	[0 5 5 10]
<b>A7</b>	[2.5 6.25 6.25 10]	[5 7.5 7.5 10]	[2.5 6.25 6.25 10]	[2.5 6.25 6.25 10]
<b>A8</b>	[5 7.5 7.5 10]	[5 7.5 7.5 10]	[5 7.5 7.5 10]	[2.5 6.25 6.25 10]
<b>A9</b>	[2.5 6.25 6.25 10]	[5 7.5 7.5 10]	[5 7.5 7.5 10]	[0 5 5 10]
<b>A10</b>	[2.5 6.25 6.25 10]	[5 7.5 7.5 10]	[2.5 6.25 6.25 10]	[2.5 6.25 6.25 10]
<b>A11</b>	[0 5 5 10]	[5 7.5 7.5 10]	[2.5 6.25 6.25 10]	[2.5 6.25 6.25 10]
<b>A12</b>	[2.5 5 5 7.5]	[2.5 5 5 7.5]	[5 7.5 7.5 10]	[2.5 6.25 6.25 10]
<b>A13</b>	[0 5 5 10]	[2.5 5 5 7.5]	[5 7.5 7.5 10]	[2.5 6.25 6.25 10]
<b>A14</b>	[2.5 6.25 6.25 10]	[5 7.5 7.5 10]	[5 7.5 7.5 10]	[5 7.5 7.5 10]
<b>A15</b>	[2.5 6.25 6.25 10]	[5 7.5 7.5 10]	[5 7.5 7.5 10]	[2.5 6.25 6.25 10]
<b>A16</b>	[5 7.5 7.5 10]	[2.5 5 5 7.5]	[5 7.5 7.5 10]	[2.5 5 5 7.5]

<b>A17</b>	[2.5 6.25 6.25 10]	[5 7.5 7.5 10]	[2.5 5 5 7.5]	[2.5 6.25 6.25 10]
<b>A18</b>	[0 3.75 3.75 7.5]	[2.5 6.25 6.25 10]	[2.5 6.25 6.25 10]	[0 3.75 3.75 7.5]
<b>A19</b>	[2.5 6.25 6.25 10]	[0 5 5 10]	[2.5 6.25 6.25 10]	[0 5 5 10]
<b>A20</b>	[0 5 5 10]	[5 7.5 7.5 10]	[5 7.5 7.5 10]	[5 7.5 7.5 10]
<b>A21</b>	[0 5 5 10]	[5 7.5 7.5 10]	[5 7.5 7.5 10]	[2.5 5 5 7.5]
<b>A22</b>	[5 7.5 7.5 10]	[5 7.5 7.5 10]	[5 7.5 7.5 10]	[2.5 6.25 6.25 10]
<b>A23</b>	[0 5 5 10]	[2.5 6.25 6.25 10]	[2.5 6.25 6.25 10]	[0 5 5 10]
<b>A24</b>	[2.5 6.25 6.25 10]	[0 5 5 10]	[5 7.5 7.5 10]	[0 5 5 10]

Fonte: O Autor.

Tabela 19 – Vetor *Fuzzy* de pesos dos critérios

	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>	<b>C4</b>
<b>W</b>	[0.75 1 1 1]	[0.75 1 1 1]	[0.75 1 1 1]	[0.75 1 1 1]

Fonte: O Autor.

Utilizando as equações 4.25 a 4.27, a matriz *Fuzzy* de decisão apresentada na Tabela 18 foi normalizada e ponderada, usando os valores do vetor *Fuzzy* de pesos dos critérios da Tabela 19 e o resultado dessa operação é mostrado na Tabela 20.

A normalização foi realizada considerando todos os critérios como de “benefício”. Pois, o *ranking* que se pretende obter deve conter uma ordem decrescente, a partir do problema que esteja mais correlacionado com o impedimento do alcance dos objetivos da empresa. Dessa forma, quanto maior a correlação dos problemas com os critérios de decisão, maior deve ser sua classificação. Sendo, portanto, diretamente proporcionais, e por isso, critérios de “benefício”.

Tabela 20 – Matriz *Fuzzy* de decisão ponderada e normalizada

	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>	<b>C4</b>
<b>A1</b>	[0 0.5 0.5 1]	[0.375 0.75 0.75 1]	[0 0.5 0.5 1]	[0 0.5 0.5 1]
<b>A2</b>	[0 0.25 0.25 0.5]	[0.375 0.75 0.75 1]	[0 0.25 0.25 0.5]	[0.375 0.375 0.75 1]
<b>A3</b>	[0.375 0.75 0.75 1]	[0 0.5 0.5 1]	[0.1875 0.625 0.625 1]	[0 0.5 0.5 1]
<b>A4</b>	[0.375 0.75 0.75 1]	[0 0.5 0.5 1]	[0.1875 0.625 0.625 1]	[0 0.5 0.5 1]
<b>A5</b>	[0 0.5 0.5 1]	[0.375 0.75 0.75 1]	[0.375 0.75 0.75 1]	[0.1875 0.625 0.625 1]
<b>A6</b>	[0.375 0.75 0.75 1]	[0.375 0.75 0.75 1]	[0.1875 0.625 0.625 1]	[0 0.5 0.5 1]
<b>A7</b>	[0.1875 0.625 0.625 1]	[0.375 0.75 0.75 1]	[0.1875 0.625 0.625 1]	[0.1875 0.625 0.625 1]
<b>A8</b>	[0.375 0.75 0.75 1]	[0.375 0.75 0.75 1]	[0.375 0.75 0.75 1]	[0.1875 0.625 0.625 1]
<b>A9</b>	[0.1875 0.625 0.625 1]	[0.375 0.75 0.75 1]	[0.375 0.75 0.75 1]	[0 0.5 0.5 1]

<b>A10</b>	[0.1875 0.625 0.625 1]	[0.375 0.75 0.75 1]	[0.1875 0.625 0.625 1]	[0.1875 0.625 0.625 1]
<b>A11</b>	[0 0.5 0.5 1]	[0.375 0.75 0.75 1]	[0.1875 0.625 0.625 1]	[0.1875 0.625 0.625 1]
<b>A12</b>	[0.1875 0.5 0.5 0.75]	[0.1875 0.5 0.5 0.75]	[0.375 0.75 0.75 1]	[0.1875 0.625 0.625 1]
<b>A13</b>	[0 0.5 0.5 1]	[0.1875 0.5 0.5 0.75]	[0.375 0.75 0.75 1]	[0.1875 0.625 0.625 1]
<b>A14</b>	[0.1875 0.625 0.625 1]	[0.375 0.75 0.75 1]	[0.375 0.75 0.75 1]	[0.375 0.75 0.75 1]
<b>A15</b>	[0.1875 0.625 0.625 1]	[0.375 0.75 0.75 1]	[0.375 0.75 0.75 1]	[0.1875 0.625 0.625 1]
<b>A16</b>	[0.375 0.75 0.75 1]	[0.1875 0.5 0.5 0.75]	[0.375 0.75 0.75 1]	[0.1875 0.5 0.5 0.75]
<b>A17</b>	[0.1875 0.625 0.625 1]	[0.375 0.75 0.75 1]	[0.1875 0.5 0.5 0.75]	[0.1875 0.625 0.625 1]
<b>A18</b>	[0.375 0.75 0.75 1]	[0.1875 0.625 0.625 1]	[0.1875 0.625 0.625 1]	[0.375 0.75 0.75 1]
<b>A19</b>	[0.1875 0.625 0.625 1]	[0 0.5 0.5 1]	[0.1875 0.625 0.625 1]	[0 0.5 0.5 1]
<b>A20</b>	[0 0.5 0.5 1]	[0.375 0.75 0.75 1]	[0.375 0.75 0.75 1]	[0.375 0.75 0.75 1]
<b>A21</b>	[0 0.5 0.5 1]	[0.375 0.75 0.75 1]	[0.375 0.75 0.75 1]	[0.1875 0.5 0.5 0.75]
<b>A22</b>	[0.375 0.75 0.75 1]	[0.375 0.75 0.75 1]	[0.375 0.75 0.75 1]	[0.1875 0.625 0.625 1]
<b>A23</b>	[0 0.5 0.5 1]	[0.1875 0.625 0.625 1]	[0.1875 0.625 0.625 1]	[0 0.5 0.5 1]
<b>A24</b>	[0.1875 0.625 0.625 1]	[0 0.5 0.5 1]	[0.375 0.75 0.75 1]	[0 0.5 0.5 1]

Fonte: O Autor.

Para a escolha da FPIS e FNIS, como mostra a Tabela 21, foi utilizada a equação 4.29, pois, como explicado na seção 4.5, utiliza-se de números *Fuzzy* propriamente ditos. Dessa forma, a FPIS e FNIS são os maiores e menores números *Fuzzy*, respectivamente, para cada critério da matriz de decisão normalizada e ponderada (Tabela 20).

Tabela 21 – FPIS e FNIS de acordo com os critérios

	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>	<b>C4</b>
<b>FPIS</b>	[0.375 0.75 0.75 1]	[0.375 0.75 0.75 1]	[0.375 0.75 0.75 1]	[0.375 0.75 0.75 1]
<b>FNIS</b>	[0 0.25 0.25 0.5]	[0 0.375 0.375 0.75]	[0 0.25 0.25 0.5]	[0 0.375 0.375 0.75]

Fonte: O Autor.

Para calcular a similaridade entre as classificações da matriz da Tabela 20 e as FPIS e FNIS apresentadas no Tabela 21, foram simuladas as quatro formas de calcular similaridade entre números *Fuzzy* pesquisadas, e apresentadas na seção 4.3.3. E o resultado do ordenamento dos problemas foi igual para as quatro formas.

A forma de calcular a similaridade *Fuzzy* foi indiferente para o resultado final no caso do trabalho, pois foram utilizados números *Fuzzy* com funções de pertinência padronizadas

(triangulares) e normalizadas para a representação das variáveis linguísticas aqui aplicadas. Entretanto, caso se faça uso de funções de pertinência mais complexas ou diferentes entre si, desenvolvidas pelos próprios decisores, como proposto por DING & KAMARUDDIN (2015) e mostrado na seção 5.4, ou ainda como proposto por ALVES & SINAY (2007), que definiram os parâmetros dos conjuntos *Fuzzy* através de uma abordagem estatística, pode ser necessário realizar uma análise de sensibilidade e verificar qual forma de calcular a similaridade *Fuzzy* mais se adequa.

São exibidos nas Tabelas 22 e 23, apenas os valores de similaridade entre as alternativas de decisão e as FPIS e FNIS, respectivamente, obtidos utilizando a maneira de calcular proposta por HEJAZI et al. (2011), equações 4.15 e 4.16. Pois, conforme COLLAN & LUUKKA (2014), trata-se de um método que leva em consideração mais informações relativas aos conjuntos *Fuzzy* no cálculo da similaridade, tais como: valores de distância geométrica, perímetro, área e altura dos conjuntos *Fuzzy*.

Tabela 22 – Similaridade entre as alternativas de decisão e a FPIS com relação a cada um dos critérios.

	C1	C2	C3	C4
S(A1, FPIS)	0.5371	0.3691	0.5371	0.5371
S(A2, FPIS)	0.2324	0.3691	0.2324	0.3691
S(A3, FPIS)	1.0000	0.5371	0.7515	0.5371
S(A4, FPIS)	1.0000	0.5371	0.7515	0.5371
S(A5, FPIS)	0.5371	1.0000	1.0000	0.7515
S(A6, FPIS)	1.0000	1.0000	0.7515	0.5371
S(A7, FPIS)	0.7515	1.0000	0.7515	0.7515
S(A8, FPIS)	1.0000	1.0000	1.0000	0.7515
S(A9, FPIS)	0.7515	1.0000	1.0000	0.5371
S(A10, FPIS)	0.7515	1.0000	0.7515	0.7515
S(A11, FPIS)	0.5371	1.0000	0.7515	0.7515
S(A12, FPIS)	0.5503	0.5503	1.0000	0.7515
S(A13, FPIS)	0.5371	0.5503	1.0000	0.7515
S(A14, FPIS)	0.7515	1.0000	1.0000	1.0000
S(A15, FPIS)	0.7515	1.0000	1.0000	0.7515
S(A16, FPIS)	1.0000	0.5503	1.0000	0.5503
S(A17, FPIS)	0.7515	1.0000	0.5503	0.7515
S(A18, FPIS)	0.3691	0.7515	0.7515	0.3691
S(A19, FPIS)	0.7515	0.5371	0.7515	0.5371
S(A20, FPIS)	0.5371	1.0000	1.0000	1.0000
S(A21, FPIS)	0.5371	1.0000	1.0000	0.5503
S(A22, FPIS)	1.0000	1.0000	1.0000	0.7515
S(A23, FPIS)	0.5371	0.7515	0.7515	0.5371
S(A24, FPIS)	0.7515	0.5371	1.0000	0.5371

Fonte: O Autor.

Tabela 23 – Similaridade entre as alternativas de decisão e a FNIS com relação a cada um dos critérios.

	C1	C2	C3	C4
S(A1, FNIS)	0.5625	1.0000	0.5625	0.7656
S(A2, FNIS)	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
S(A3, FNIS)	0.2324	0.7656	0.3804	0.7656
S(A4, FNIS)	0.2324	0.7656	0.3804	0.7656
S(A5, FNIS)	0.5625	0.3691	0.2324	0.5503
S(A6, FNIS)	0.2324	0.3691	0.3804	0.7656
S(A7, FNIS)	0.3804	0.3691	0.3804	0.5503
S(A8, FNIS)	0.2324	0.3691	0.2324	0.5503
S(A9, FNIS)	0.3804	0.3691	0.2324	0.7656
S(A10, FNIS)	0.3804	0.3691	0.3804	0.5503
S(A11, FNIS)	0.5625	0.3691	0.3804	0.5503
S(A12, FNIS)	0.5503	0.7515	0.2324	0.5503
S(A13, FNIS)	0.5625	0.7515	0.2324	0.5503
S(A14, FNIS)	0.3804	0.3691	0.2324	0.3691
S(A15, FNIS)	0.3804	0.3691	0.2324	0.5503
S(A16, FNIS)	0.2324	0.7515	0.2324	0.7515
S(A17, FNIS)	0.3804	0.3691	0.5503	0.5503
S(A18, FNIS)	0.7656	0.5503	0.3804	1.0000
S(A19, FNIS)	0.3804	0.7656	0.3804	0.7656
S(A20, FNIS)	0.5625	0.3691	0.2324	0.3691
S(A21, FNIS)	0.5625	0.3691	0.2324	0.7515
S(A22, FNIS)	0.2324	0.3691	0.2324	0.5503
S(A23, FNIS)	0.5625	0.5503	0.3804	0.7656
S(A24, FNIS)	0.3804	0.7656	0.2324	0.7656

Fonte: O Autor.

Utilizando os valores de  $S_i^+$  e  $S_i^-$ , obtidos através das equações 4.30 e 4.31, obtém-se o coeficiente de similaridade,  $CCS_i$ , para cada uma das alternativas, como mostra a Tabela 24.

Tabela 24 – Resultados dos valores de  $S_i^+$  e  $S_i^-$  e do Coeficiente de Similaridade para cada alternativa de decisão

	$S_i^+$	$S_i^-$	$CCS_i$
A1	0.4951	0.7227	0.4066
A2	0.3008	1.0000	0.2312
A3	0.7064	0.5360	0.5686
A4	0.7064	0.5360	0.5686
A5	0.8221	0.4286	0.6573
A6	0.8221	0.4369	0.6530
A7	0.8136	0.4200	0.6595
A8	0.9379	0.3461	0.7305

<b>A9</b>	0.8221	0.4369	0.6530
<b>A10</b>	0.8136	0.4200	0.6595
<b>A11</b>	0.7600	0.4656	0.6201
<b>A12</b>	0.7130	0.5211	0.5777
<b>A13</b>	0.7097	0.5242	0.5752
<b>A14</b>	0.9379	0.3378	0.7352
<b>A15</b>	0.8757	0.3831	0.6957
<b>A16</b>	0.7751	0.4919	0.6118
<b>A17</b>	0.7633	0.4625	0.6227
<b>A18</b>	0.5603	0.6741	0.4539
<b>A19</b>	0.6443	0.5730	0.5293
<b>A20</b>	0.8843	0.3833	0.6976
<b>A21</b>	0.7719	0.4789	0.6171
<b>A22</b>	0.9379	0.3461	0.7305
<b>A23</b>	0.6443	0.5647	0.5329
<b>A24</b>	0.7064	0.5360	0.5686

Fonte: O Autor.

A partir da ordenação do coeficiente de similaridade, foi construído o *ranking* apresentando no Tabela 25.

Tabela 25 – *Ranking* dos problemas da manutenção a serem priorizados pela gestão da manutenção

<b>Colocação</b>	<b>Problemas da Manutenção</b>
<b>1º</b>	<b>A14)</b> Não existem relatórios disponíveis na manutenção gerados por equipamentos importantes.
<b>2º</b>	<b>A8)</b> Não existe listagem impressa de materiais de manutenção em estoque.
<b>3º</b>	<b>A22)</b> Menos que 70% dos sistemas automatizados existentes na manutenção, principalmente as interligações com outros sistemas, apresentam precisão e confiabilidade ou inexistente automação.
<b>4º</b>	<b>A20)</b> Menos que 40% das atividades de estoque e compras é feita por computador.
<b>5º</b>	<b>A15)</b> Não existem relatórios de MP suficientes disponíveis na manutenção.
<b>6º</b>	<b>A7)</b> Menos que 40% dos itens em estoque dispõe de uma lista atualizada na manutenção.
<b>7º</b>	<b>A10)</b> Menos que 70% de itens de estoque da manutenção é administrada através de níveis máximos e mínimos.
<b>8º</b>	<b>A5)</b> Apenas entre 40 a 60% do programa de MP é checada anualmente, comparando resultados reais com as estimativas de tempo e material.
<b>9º</b>	<b>A6)</b> Apenas entre 50% e 70% das vezes o material requisitado é encontrado no estoque da manutenção.
<b>10º</b>	<b>A9)</b> Menos que 70% dos materiais em estoque dispõe de uma localização cartesiana (corredor – prateleira).
<b>11º</b>	<b>A17)</b> Não existem relatórios de estoque gerados pela manutenção.

12°	A11) Menos que 50% dos itens de estoque é checada para verificar retiradas nos últimos seis meses.
13°	A21) O planejamento da produção é que prioriza as tarefas de manutenção.
14°	A16) Não existem relatórios de planejamento suficientes emitidos pela manutenção.
15°	A12) Menos que 40% de vezes os relatórios gerenciais de manutenção chegam ao destinatário dentro de um dia da emissão.
16°	A13) Menos que 40% do número de relatórios emitidos pela manutenção são avaliados pelo gerente de manutenção como úteis, realmente atingindo as pessoas certas.
17°	A3) Não existe planejador da manutenção ou então uma relação inadequada entre planejador /funcionários diretos da manutenção.
18°	A4) Não há programa de treinamento para planejadores.
19°	A24) As informações de custos de manutenção chegam a contabilidade da empresa por documentos manuais, só para atender ao sistema de custos.
20°	A23) Sobre o nível de interligação dos lançamentos de horas de manutenção e a folha de pagamentos no departamento de pessoal, a manutenção gera lista especial só para atender o departamento de pessoal e vice-versa.
21°	A19) Menos que 40% das operações de manutenção é feita por computador.
22°	A18) Não existem relatórios de compra gerados pela manutenção.
23°	A1) Ausência de organograma da manutenção.
24°	A2) Cadernos de Encargos ( <i>job descriptions</i> ) estão disponíveis para menos que 50% de todas as posições da manutenção.

Fonte: O Autor.

Analogamente à sequência de resultados apresentada para a AREVA, são exibidos nas Tabelas 26 a 32 a mesma sequência de resultados para a IMBEL e nas Tabelas 33 a 39 para a MAHLE. O vetor *Fuzzy* correlato a ponderação dos critérios, como explicado anteriormente, será o mesmo para as três empresas e encontra-se na Tabela 19.

### 6.3.2 IMBEL

Tabela 26 – Matriz de decisão *Fuzzy* correspondente à unificação das opiniões dos dois especialistas

	C1	C2	C3	C4
A1	[0 5 5 10]	[0 3.75 3.75 7.5]	[0 5 5 10]	[0 5 5 10]
A2	[5 7.5 7.5 10]	[2.5 6.25 6.25 10]	[5 7.5 7.5 10]	[0 5 5 10]
A3	[5 7.5 7.5 10]	[0 5 5 10]	[2.5 6.25 6.25 10]	[0 5 5 10]
A4	[2.5 6.25 6.25 10]	[0 5 5 10]	[2.5 6.25 6.25 10]	[0 5 5 10]
A5	[5 7.5 7.5 10]	[0 5 5 10]	[2.5 6.25 6.25 10]	[0 5 5 10]
A6	[5 7.5 7.5 10]	[0 5 5 10]	[2.5 6.25 6.25 10]	[0 5 5 10]
A7	[5 7.5 7.5 10]	[0 5 5 10]	[2.5 6.25 6.25 10]	[0 5 5 10]
A8	[2.5 6.25 6.25 10]	[0 3.75 3.75 7.5]	[5 7.5 7.5 10]	[0 5 5 10]

<b>A9</b>	[0 3.75 3.75 7.5]	[2.5 6.25 6.25 10]	[2.5 6.25 6.25 10]	[2.5 6.25 6.25 10]
<b>A10</b>	[0 3.75 3.75 7.5]	[2.5 6.25 6.25 10]	[2.5 6.25 6.25 10]	[5 7.5 7.5 10]
<b>A11</b>	[5 7.5 7.5 10]	[5 7.5 7.5 10]	[5 7.5 7.5 10]	[2.5 6.25 6.25 10]
<b>A12</b>	[0 5 5 10]	[2.5 6.25 6.25 10]	[2.5 6.25 6.25 10]	[2.5 6.25 6.25 10]
<b>A13</b>	[5 7.5 7.5 10]	[5 7.5 7.5 10]	[5 7.5 7.5 10]	[2.5 6.25 6.25 10]
<b>A14</b>	[5 7.5 7.5 10]	[2.5 6.25 6.25 10]	[2.5 6.25 6.25 10]	[2.5 6.25 6.25 10]
<b>A15</b>	[0 5 5 10]	[5 7.5 7.5 10]	[5 7.5 7.5 10]	[2.5 6.25 6.25 10]
<b>A16</b>	[5 7.5 7.5 10]	[5 7.5 7.5 10]	[2.5 6.25 6.25 10]	[0 5 5 10]
<b>A17</b>	[2.5 6.25 6.25 10]	[5 7.5 7.5 10]	[2.5 6.25 6.25 10]	[2.5 6.25 6.25 10]
<b>A18</b>	[2.5 6.25 6.25 10]	[5 7.5 7.5 10]	[5 7.5 7.5 10]	[0 5 5 10]
<b>A19</b>	[0 3.75 3.75 7.5]	[2.5 6.25 6.25 10]	[2.5 6.25 6.25 10]	[2.5 6.25 6.25 10]
<b>A20</b>	[2.5 6.25 6.25 10]	[2.5 6.25 6.25 10]	[5 7.5 7.5 10]	[2.5 6.25 6.25 10]
<b>A21</b>	[0 5 5 10]	[2.5 6.25 6.25 10]	[5 7.5 7.5 10]	[2.5 6.25 6.25 10]
<b>A22</b>	[2.5 6.25 6.25 10]	[5 7.5 7.5 10]	[5 7.5 7.5 10]	[5 7.5 7.5 10]
<b>A23</b>	[2.5 6.25 6.25 10]	[5 7.5 7.5 10]	[5 7.5 7.5 10]	[2.5 6.25 6.25 10]
<b>A24</b>	[5 7.5 7.5 10]	[2.5 6.25 6.25 10]	[5 7.5 7.5 10]	[2.5 6.25 6.25 10]
<b>A25</b>	[2.5 6.25 6.25 10]	[5 7.5 7.5 10]	[5 7.5 7.5 10]	[2.5 6.25 6.25 10]
<b>A26</b>	[2.5 6.25 6.25 10]	[5 7.5 7.5 10]	[2.5 6.25 6.25 10]	[2.5 6.25 6.25 10]
<b>A27</b>	[0 3.75 3.75 7.5]	[2.5 6.25 6.25 10]	[2.5 6.25 6.25 10]	[0 3.75 3.75 7.5]
<b>A28</b>	[2.5 6.25 6.25 10]	[0 3.75 3.75 7.5]	[2.5 6.25 6.25 10]	[0 2.5 2.5 5]
<b>A29</b>	[0 5 5 10]	[5 7.5 7.5 10]	[5 7.5 7.5 10]	[2.5 6.25 6.25 10]
<b>A30</b>	[5 7.5 7.5 10]	[5 7.5 7.5 10]	[5 7.5 7.5 10]	[2.5 6.25 6.25 10]
<b>A31</b>	[0 5 5 10]	[2.5 6.25 6.25 10]	[2.5 6.25 6.25 10]	[0 5 5 10]

Fonte: O Autor.

Tabela 27 – Matriz *Fuzzy* de decisão ponderada e normalizada

	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>	<b>C4</b>
<b>A1</b>	[0 0.5 0.5 1]	[0.375 0.75 0.75 1]	[0 0.5 0.5 1]	[0 0.5 0.5 1]
<b>A2</b>	[0.375 0.75 0.75 1]	[0.1875 0.625 0.625 1]	[0.375 0.75 0.75 1]	[0 0.5 0.5 1]
<b>A3</b>	[0.375 0.75 0.75 1]	[0 0.5 0.5 1]	[0.1875 0.625 0.625 1]	[0 0.5 0.5 1]
<b>A4</b>	[0.1875 0.625 0.625 1]	[0 0.5 0.5 1]	[0.1875 0.625 0.625 1]	[0 0.5 0.5 1]
<b>A5</b>	[0.375 0.75 0.75 1]	[0 0.5 0.5 1]	[0.1875 0.625 0.625 1]	[0 0.5 0.5 1]
<b>A6</b>	[0.375 0.75 0.75 1]	[0 0.5 0.5 1]	[0.1875 0.625 0.625 1]	[0 0.5 0.5 1]
<b>A7</b>	[0.375 0.75 0.75 1]	[0 0.5 0.5 1]	[0.1875 0.625 0.625 1]	[0 0.5 0.5 1]
<b>A8</b>	[0.1875 0.625 0.625 1]	[0.375 0.75 0.75 1]	[0.375 0.75 0.75 1]	[0 0.5 0.5 1]
<b>A9</b>	[0.375 0.75 0.75 1]	[0.1875 0.625 0.625 1]	[0.1875 0.625 0.625 1]	[0.1875 0.625 0.625 1]
<b>A10</b>	[0.375 0.75 0.75 1]	[0.1875 0.625 0.625 1]	[0.1875 0.625 0.625 1]	[0.375 0.75 0.75 1]
<b>A11</b>	[0.375 0.75 0.75 1]	[0.375 0.75 0.75 1]	[0.375 0.75 0.75 1]	[0.1875 0.625 0.625 1]

<b>A12</b>	[0 0.5 0.5 1]	[0.1875 0.625 0.625 1]	[0.1875 0.625 0.625 1]	[0.1875 0.625 0.625 1]
<b>A13</b>	[0.375 0.75 0.75 1]	[0.375 0.75 0.75 1]	[0.375 0.75 0.75 1]	[0.1875 0.625 0.625 1]
<b>A14</b>	[0.375 0.75 0.75 1]	[0.1875 0.625 0.625 1]	[0.1875 0.625 0.625 1]	[0.1875 0.625 0.625 1]
<b>A15</b>	[0 0.5 0.5 1]	[0.375 0.75 0.75 1]	[0.375 0.75 0.75 1]	[0.1875 0.625 0.625 1]
<b>A16</b>	[0.375 0.75 0.75 1]	[0.375 0.75 0.75 1]	[0.1875 0.625 0.625 1]	[0 0.5 0.5 1]
<b>A17</b>	[0.1875 0.625 0.625 1]	[0.375 0.75 0.75 1]	[0.1875 0.625 0.625 1]	[0.1875 0.625 0.625 1]
<b>A18</b>	[0.1875 0.625 0.625 1]	[0.375 0.75 0.75 1]	[0.375 0.75 0.75 1]	[0 0.5 0.5 1]
<b>A19</b>	[0.375 0.75 0.75 1]	[0.1875 0.625 0.625 1]	[0.1875 0.625 0.625 1]	[0.1875 0.625 0.625 1]
<b>A20</b>	[0.1875 0.625 0.625 1]	[0.1875 0.625 0.625 1]	[0.375 0.75 0.75 1]	[0.1875 0.625 0.625 1]
<b>A21</b>	[0 0.5 0.5 1]	[0.1875 0.625 0.625 1]	[0.375 0.75 0.75 1]	[0.1875 0.625 0.625 1]
<b>A22</b>	[0.1875 0.625 0.625 1]	[0.375 0.75 0.75 1]	[0.375 0.75 0.75 1]	[0.1875 0.625 0.625 1]
<b>A23</b>	[0.1875 0.625 0.625 1]	[0.375 0.75 0.75 1]	[0.375 0.75 0.75 1]	[0.1875 0.625 0.625 1]
<b>A24</b>	[0.1875 0.625 0.625 1]	[0.1875 0.625 0.625 1]	[0.375 0.75 0.75 1]	[0.1875 0.625 0.625 1]
<b>A25</b>	[0.1875 0.625 0.625 1]	[0.375 0.75 0.75 1]	[0.375 0.75 0.75 1]	[0.1875 0.625 0.625 1]
<b>A26</b>	[0.1875 0.625 0.625 1]	[0.375 0.75 0.75 1]	[0.1875 0.625 0.625 1]	[0.1875 0.625 0.625 1]
<b>A27</b>	[0.375 0.75 0.75 1]	[0.1875 0.625 0.625 1]	[0.1875 0.625 0.625 1]	[0.375 0.75 0.75 1]
<b>A28</b>	[0.1875 0.625 0.625 1]	[0.1875 0.625 0.625 1]	[0.1875 0.625 0.625 1]	[0.1875 0.625 0.625 1]
<b>A29</b>	[0 0.5 0.5 1]	[0.375 0.75 0.75 1]	[0.375 0.75 0.75 1]	[0.1875 0.625 0.625 1]
<b>A30</b>	[0.375 0.75 0.75 1]	[0.375 0.75 0.75 1]	[0.375 0.75 0.75 1]	[0.1875 0.625 0.625 1]
<b>A31</b>	[0 0.5 0.5 1]	[0.1875 0.625 0.625 1]	[0.1875 0.625 0.625 1]	[0 0.5 0.5 1]

Fonte: O Autor.

Tabela 28 – FPIS e FNIS de acordo com os critérios

	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>	<b>C4</b>
<b>FPIS</b>	[0.375 0.75 0.75 1]	[0.375 0.75 0.75 1]	[0.375 0.75 0.75 1]	[0.375 0.75 0.75 1]
<b>FNIS</b>	[0 0.375 0.375 0.75]	[0 0.375 0.375 0.75]	[0 0.5 0.5 0.75]	[0 0.25 0.25 0.5]

Fonte: O Autor.

Tabela 29 – Similaridade entre as alternativas de decisão e a FPIS com relação a cada um dos critérios.

	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>	<b>C4</b>
<b>S(A1, FPIS)</b>	0.5371	0.3691	0.5371	0.5371
<b>S(A2, FPIS)</b>	1.0000	0.7515	1.0000	0.5371
<b>S(A3, FPIS)</b>	1.0000	0.5371	0.7515	0.5371
<b>S(A4, FPIS)</b>	0.7515	0.5371	0.7515	0.5371
<b>S(A5, FPIS)</b>	1.0000	0.5371	0.7515	0.5371
<b>S(A6, FPIS)</b>	1.0000	0.5371	0.7515	0.5371
<b>S(A7, FPIS)</b>	1.0000	0.5371	0.7515	0.5371
<b>S(A8, FPIS)</b>	0.7515	0.3691	1.0000	0.5371
<b>S(A9, FPIS)</b>	0.3691	0.7515	0.5503	0.7515
<b>S(A10, FPIS)</b>	0.3691	0.7515	0.7515	1.0000
<b>S(A11, FPIS)</b>	1.0000	1.0000	1.0000	0.7515
<b>S(A12, FPIS)</b>	0.5371	0.7515	0.7515	0.7515
<b>S(A13, FPIS)</b>	1.0000	1.0000	1.0000	0.7515
<b>S(A14, FPIS)</b>	1.0000	0.7515	0.5503	0.7515
<b>S(A15, FPIS)</b>	0.5371	1.0000	1.0000	0.7515
<b>S(A16, FPIS)</b>	1.0000	1.0000	0.7515	0.5371
<b>S(A17, FPIS)</b>	0.7515	1.0000	0.7515	0.7515
<b>S(A18, FPIS)</b>	0.7515	1.0000	1.0000	0.5371
<b>S(A19, FPIS)</b>	0.3691	0.7515	0.7515	0.7515
<b>S(A20, FPIS)</b>	0.5503	0.5503	1.0000	0.7515
<b>S(A21, FPIS)</b>	0.5371	0.5503	1.0000	0.7515
<b>S(A22, FPIS)</b>	0.7515	1.0000	1.0000	1.0000
<b>S(A23, FPIS)</b>	0.7515	1.0000	1.0000	0.7515
<b>S(A24, FPIS)</b>	1.0000	0.5503	1.0000	0.5503
<b>S(A25, FPIS)</b>	0.7515	1.0000	1.0000	0.7515
<b>S(A26, FPIS)</b>	0.7515	1.0000	0.5503	0.7515
<b>S(A27, FPIS)</b>	0.3691	0.7515	0.7515	0.3691
<b>S(A28, FPIS)</b>	0.7515	0.3691	0.7515	0.2324
<b>S(A29, FPIS)</b>	0.5371	1.0000	1.0000	0.5503
<b>S(A30, FPIS)</b>	1.0000	1.0000	1.0000	0.7515
<b>S(A31, FPIS)</b>	0.5371	0.7515	0.7515	0.5371

Fonte: O Autor.

Tabela 30 – Similaridade entre as alternativas de decisão e a FNIS com relação a cada um dos critérios.

	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>	<b>C4</b>
<b>S(A1, FNIS)</b>	0.7656	1.0000	0.8203	0.5625
<b>S(A2, FNIS)</b>	0.3691	0.5503	0.5840	0.5625
<b>S(A3, FNIS)</b>	0.3691	0.7656	0.8022	0.5625

<b>S(A4, FNIS)</b>	0.5503	0.7656	0.8022	0.5625
<b>S(A5, FNIS)</b>	0.3691	0.7656	0.8022	0.5625
<b>S(A6, FNIS)</b>	0.3691	0.7656	0.8022	0.5625
<b>S(A7, FNIS)</b>	0.3691	0.7656	0.8022	0.5625
<b>S(A8, FNIS)</b>	0.5503	1.0000	0.5840	0.5625
<b>S(A9, FNIS)</b>	1.0000	0.5503	0.8638	0.3804
<b>S(A10, FNIS)</b>	1.0000	0.5503	0.8022	0.2324
<b>S(A11, FNIS)</b>	0.3691	0.3691	0.5840	0.3804
<b>S(A12, FNIS)</b>	0.7656	0.5503	0.8022	0.3804
<b>S(A13, FNIS)</b>	0.3691	0.3691	0.5840	0.3804
<b>S(A14, FNIS)</b>	0.3691	0.5503	0.8638	0.3804
<b>S(A15, FNIS)</b>	0.7656	0.3691	0.5840	0.3804
<b>S(A16, FNIS)</b>	0.3691	0.3691	0.8022	0.5625
<b>S(A17, FNIS)</b>	0.5503	0.3691	0.8022	0.3804
<b>S(A18, FNIS)</b>	0.5503	0.3691	0.5840	0.5625
<b>S(A19, FNIS)</b>	1.0000	0.5503	0.8022	0.3804
<b>S(A20, FNIS)</b>	0.7515	0.7515	0.5840	0.3804
<b>S(A21, FNIS)</b>	0.7656	0.7515	0.5840	0.3804
<b>S(A22, FNIS)</b>	0.5503	0.3691	0.5840	0.2324
<b>S(A23, FNIS)</b>	0.5503	0.3691	0.5840	0.3804
<b>S(A24, FNIS)</b>	0.3691	0.7515	0.5840	0.5503
<b>S(A25, FNIS)</b>	0.5503	0.3691	0.5840	0.3804
<b>S(A26, FNIS)</b>	0.5503	0.3691	0.8638	0.3804
<b>S(A27, FNIS)</b>	1.0000	0.5503	0.8022	0.7656
<b>S(A28, FNIS)</b>	0.5503	1.0000	0.8022	1.0000
<b>S(A29, FNIS)</b>	0.7656	0.3691	0.5840	0.5503
<b>S(A30, FNIS)</b>	0.3691	0.3691	0.5840	0.3804
<b>S(A31, FNIS)</b>	0.7656	0.5503	0.8022	0.5625

Fonte: O Autor.

Tabela 31 – Resultados dos valores de  $S_i^+$  e  $S_i^-$  e do Coeficiente de Similaridade para cada alternativa de decisão

	$S_i^+$	$S_i^-$	$CCS_i$
A1	0.4951	0.7871	0.3861
A2	0.8221	0.5165	0.6142
A3	0.7064	0.6249	0.5306
A4	0.6443	0.6702	0.4902
A5	0.7064	0.6249	0.5306
A6	0.7064	0.6249	0.5306
A7	0.7064	0.6249	0.5306
A8	0.6644	0.6742	0.4964
A9	0.6056	0.6986	0.4643
A10	0.7180	0.6462	0.5263
A11	0.9379	0.4257	0.6878

A12	0.6979	0.6246	0.5277
A13	0.9379	0.4257	0.6878
A14	0.7633	0.5409	0.5853
A15	0.8221	0.5248	0.6104
A16	0.8221	0.5258	0.6099
A17	0.8136	0.5255	0.6076
A18	0.8221	0.5165	0.6142
A19	0.6559	0.6832	0.4898
A20	0.7130	0.6168	0.5362
A21	0.7097	0.6204	0.5336
A22	0.9379	0.4340	0.6837
A23	0.8757	0.4709	0.6503
A24	0.7751	0.5637	0.5790
A25	0.8757	0.4709	0.6503
A26	0.7633	0.5409	0.5853
A27	0.5603	0.7795	0.4182
A28	0.5261	0.8381	0.3856
A29	0.7719	0.5673	0.5764
A30	0.9379	0.4257	0.6878
A31	0.6443	0.6702	0.4902

Fonte: O Autor.

Tabela 32 – *Ranking* dos problemas da manutenção a serem priorizados pela gestão da manutenção

Colocação	Problemas da Manutenção
1º	A11) Reuniões de manutenção com o pessoal de produção são realizadas com uma frequência indefinida.
2º	A13) Menos que 40% dos programas de MP é avaliada anualmente contra dados históricos reais conseguidos para assegurar sua eficácia.
3º	A30) Menos que 70% dos sistemas automatizados existentes na manutenção, principalmente as interligações com outros sistemas, apresentam precisão e confiabilidade ou inexistem automação
4º	A22) Não existem relatórios disponíveis na manutenção gerados por equipamentos importantes.
5º	A23) Não existem relatórios de MP suficientes disponíveis na manutenção.
6º	A25) Não existem relatórios de programação suficientes disponíveis na manutenção.
7º	A2) 1 supervisor para mais de 16 funcionários diretos da manutenção.
8º	A18) Menos que 70% dos materiais em estoque dispõe de uma localização cartesiana (corredor – prateleira).
9º	A15) Menos que 40% do programa de MP é checada anualmente, comparando resultados reais com as estimativas de tempo e material.
10º	A16) Menos que 50% das vezes o material requisitado é encontrado no estoque da manutenção.
11º	A17) Menos que 40% dos itens em estoque dispõe de uma lista atualizada na manutenção.
12º	A14) A frequência de inspeção de MP é baseada em somente em intervalos de calendário.

13°	A26) Não existem relatórios de estoque gerados pela manutenção.
14°	A24) Não existem relatórios de planejamento emitidos pela manutenção.
15°	A29) Não existem interligações (constantes atritos) entre as informações da manutenção e as do planejamento da produção
16°	A20) Menos que 40% de vezes os relatórios gerenciais de manutenção chegam ao destinatário dentro de um dia da emissão.
17°	A21) Menos que 40% do número de relatórios emitidos pela manutenção são avaliados pelo gerente de manutenção como úteis, realmente atingindo as pessoas certas.
18°	A3) Não existe planejador da manutenção ou então uma relação inadequada entre planejador /funcionários diretos da manutenção.
19°	A5) Menos de 50 % do pessoal de manutenção que recebe bônus baseado no desempenho do grupo/empresa.
20°	A6) Poucos supervisores são treinados ou não existe treinamento para supervisores.
21°	A7) Não há programa de treinamento para planejadores.
22°	A12) Menos que 40% de acerto do planejamento comparando tempos reais com estimados.
23°	A10) Menos que 20% das OS é gerada por serviços de MP.
24°	A8) Treinamento formal é ministrado para apenas alguns especialistas sem frequência definida.
25°	A4) Qualidade e quantidade sofríveis das ferramentas e equipamentos de manutenção.
26°	A31) A manutenção apropria as horas, independentemente das horas usadas para pagamento
27°	A19) A lista para repor estoque é enviada para o departamento de compras sem frequência definida.
28°	A9) Menos que 25% das OS é conferida pelo supervisor nos aspectos de qualidade e efetiva conclusão do serviço.
29°	A27) Não existem relatórios de compra gerados pela manutenção.
30°	A1) Ausência de organograma da manutenção.
31°	A28) Não existem relatórios administrativos gerados pela manutenção

Fonte: O Autor.

### 6.3.3 Mahle

Tabela 33 – Matriz de decisão *Fuzzy* correspondente à unificação das opiniões dos dois especialistas

	C1	C2	C3	C4
A1	[5 7.5 7.5 10]	[2.5 6.25 6.25 10]	[5 7.5 7.5 10]	[0 5 5 10]
A2	[5 7.5 7.5 10]	[0 5 5 10]	[2.5 5.0 5.0 7.5]	[0 5 5 10]
A3	[0 3.75 3.75 7.5]	[2.5 6.25 6.25 10]	[2.5 5.0 5.0 7.5]	[2.5 6.25 6.25 10]
A4	[5 7.5 7.5 10]	[5 7.5 7.5 10]	[5 7.5 7.5 10]	[2.5 6.25 6.25 10]
A5	[0 5 5 10]	[2.5 6.25 6.25 10]	[2.5 6.25 6.25 10]	[2.5 6.25 6.25 10]
A6	[5 7.5 7.5 10]	[5 7.5 7.5 10]	[5 7.5 7.5 10]	[2.5 6.25 6.25 10]
A7	[5 7.5 7.5 10]	[5 7.5 7.5 10]	[0 3.75 3.75 7.5]	[2.5 6.25 6.25 10]
A8	[0 5 5 10]	[2.5 6.25 6.25 10]	[2.5 6.25 6.25 10]	[0 5 5 10]

Fonte: O Autor.

Tabela 34 – Matriz *Fuzzy* de decisão ponderada e normalizada

	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>	<b>C4</b>
<b>A1</b>	[0.375 0.75 0.75 1]	[0.1875 0.625 0.625 1]	[0.375 0.75 0.75 1]	[0 0.5 0.5 1]
<b>A2</b>	[0.375 0.75 0.75 1]	[0 0.5 0.5 1]	[0.1875 0.5 0.5 0.75]	[0 0.5 0.5 1]
<b>A3</b>	[0 0.375 0.375 0.75]	[0.1875 0.625 0.625 1]	[0.1875 0.5 0.5 0.75]	[0.1875 0.625 0.625 1]
<b>A4</b>	[0.375 0.75 0.75 1]	[0.375 0.75 0.75 1]	[0.375 0.75 0.75 1]	[0.1875 0.625 0.625 1]
<b>A5</b>	[0 0.5 0.5 1]	[0.1875 0.625 0.625 1]	[0.1875 0.625 0.625 1]	[0.1875 0.625 0.625 1]
<b>A6</b>	[0.375 0.75 0.75 1]	[0.375 0.75 0.75 1]	[0.375 0.75 0.75 1]	[0.1875 0.625 0.625 1]
<b>A7</b>	[0.375 0.75 0.75 1]	[0.375 0.75 0.75 1]	[0 0.375 0.375 0.75]	[0.1875 0.625 0.625 1]
<b>A8</b>	[0 0.5 0.5 1]	[0.1875 0.625 0.625 1]	[0.1875 0.625 0.625 1]	[0 0.5 0.5 1]

Fonte: O Autor.

Tabela 35 – FPIS e FNIS de acordo com os critérios

	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>	<b>C4</b>
<b>FPIS</b>	[0.375 0.75 0.75 1]	[0.375 0.75 0.75 1]	[0.375 0.75 0.75 1]	[0.1875 0.625 0.625 1]
<b>FNIS</b>	[0 0.375 0.375 0.75]	[0 0.5 0.5 1]	[0 0.375 0.375 0.75]	[0 0.5 0.5 1]

Fonte: O Autor.

Tabela 36 – Similaridade entre as alternativas de decisão e a FPIS com relação a cada um dos critérios.

	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>	<b>C4</b>
<b>S(A1, FPIS)</b>	1.0000	0.7515	1.0000	0.7515
<b>S(A2, FPIS)</b>	1.0000	0.5371	0.5503	0.7515
<b>S(A3, FPIS)</b>	0.3691	0.7515	0.5503	1.0000
<b>S(A4, FPIS)</b>	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
<b>S(A5, FPIS)</b>	0.5371	0.7515	0.7515	1.0000
<b>S(A6, FPIS)</b>	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
<b>S(A7, FPIS)</b>	1.0000	1.0000	0.3691	1.0000
<b>S(A8, FPIS)</b>	0.5371	0.7515	0.7515	0.7515

Fonte: O Autor.

Tabela 37 – Similaridade entre as alternativas de decisão e a FNIS com relação a cada um dos critérios

	C1	C2	C3	C4
S(A1, FNIS)	0.3691	0.7515	0.3691	1.0000
S(A2, FNIS)	0.3691	1.0000	0.7515	1.0000
S(A3, FNIS)	1.0000	0.7515	0.7515	0.7515
S(A4, FNIS)	0.3691	0.5371	0.3691	0.7515
S(A5, FNIS)	0.7656	0.7515	0.5503	0.7515
S(A6, FNIS)	0.3691	0.5371	0.3691	0.7515
S(A7, FNIS)	0.3691	0.5371	1.0000	0.7515
S(A8, FNIS)	0.7656	0.7515	0.5503	1.0000

Fonte: O Autor.

Tabela 38 – Resultados dos valores de  $S_i^+$  e  $S_i^-$  e do Coeficiente de Similaridade para cada alternativa de decisão

	$S_i^+$	$S_i^-$	$CCS_i$
A1	0.8757	0.6224	0.5845
A2	0.7097	0.7802	0.4764
A3	0.6677	0.8136	0.4508
A4	1.0000	0.5067	0.6637
A5	0.7600	0.7047	0.5189
A6	1.0000	0.5067	0.6637
A7	0.8423	0.6644	0.5590
A8	0.6979	0.7668	0.4765

Fonte: O Autor.

Tabela 39 – *Ranking* dos problemas da manutenção a serem priorizados pela gestão da manutenção

Colocação	Problemas da Manutenção
1º	A4) Reuniões de manutenção com o pessoal de produção são realizadas diariamente
2º	A6) Menos que 40% dos programas de MP é avaliada anualmente contra dados históricos reais conseguidos para assegurar sua eficácia.
3º	A1) 1 supervisor para mais de 16 funcionários diretos da manutenção.
4º	A7) O tempo médio para concluir uma inspeção completa de MP em um equipamento importante é menos que 2 horas
5º	A5) Menos que 40% de acerto do planejamento comparando tempos reais com estimados.
6º	A8) A manutenção apropriada as horas, independentemente das horas usadas para pagamento
7º	A2) Todo treinamento é feito no serviço real
8º	A3) Apenas 25% das OS é conferida pelo supervisor nos aspectos de qualidade e efetiva conclusão do serviço.

Fonte: O Autor.

## 6.4 ANÁLISE DOS RESULTADOS E RECOMENDAÇÕES PARA MITIGAR OS PROBLEMAS PRIORIZADOS

Nesta seção, serão abordados os perfis de classificação da manutenção das empresas pesquisadas, bem como uma análise sistêmica dos cinco principais problemas priorizados pela metodologia de MCDM apresentada e sugestões de ações para mitigação desses problemas.

### 6.4.1 Perfil da Manutenção das empresas estudadas

A pontuação global da avaliação das empresas, segundo parâmetros que pontuam o perfil da manutenção, de acordo com o formulário organizado por MIRSHAWKA & OLMEDO (1993), e que foi aplicado por ROSA (2006), está resumida na Tabela 40 e Figura 34. Pois, o questionário foi desenvolvido de forma que as alternativas de resposta às questões possuem uma pontuação padronizada: “a” vale 4 pontos; “b” vale 3 pontos; “c” vale 2 pontos; “d” vale 1 ponto e “e” vale zero ponto.

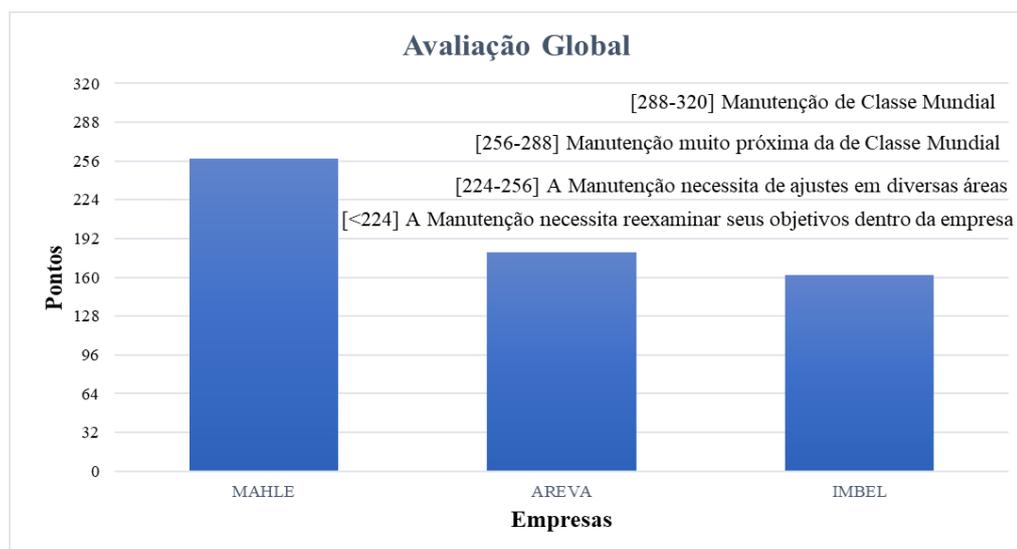
De acordo com a Figura 34, as empresas recebem a seguinte classificação: a MAHLE apresenta a sua função manutenção muito próxima da de classe mundial, necessitando apenas examinar as áreas onde perdeu pontos; já a AREVA e a IMBEL possuem classificações muito abaixo da de classe mundial, precisando verificar os objetivos da manutenção dentro da empresa.

Tabela 40– Pontuação Global das Empresas.

	QUESITOS	MAHLE	AREVA	IMBEL-FI
1	Aspectos Organizacionais da Manutenção	34	22	17
2	Programas de Treinamento em Manutenção	29	24	19
3	Ordens de Serviço da Manutenção	32	33	30
4	Planejamento e Programação da Manutenção	32	32	26
5	Manutenção Preventiva	28	23	19
6	Compras e Estoques de Manutenção	38	16	23
7	Relatórios Gerenciais de Manutenção	32	13	4
8	Automação na Manutenção	33	18	24
<b>PONTUAÇÃO TOTAL</b>		<b>258</b>	<b>181</b>	<b>162</b>

Fonte: ROSA (2006)

Figura 34 – Classificação das Empresas



Fonte: ROSA (2006) e MIRSHAWKA & OLMEDO (1993)

Os gráficos das Figuras 35 a 37, mostram um panorama geral da avaliação dos oito principais tópicos abordados no questionário, para as três empresas, AREVA, IMBEL e MAHLE, respectivamente. A partir dos gráficos é possível visualizar o nível de maturidade de cada um dos tópicos frente às práticas adequadas de gestão de manutenção apresentadas na revisão literária desta dissertação. E em que panorama se encontram os cinco primeiros problemas apresentados no *ranking* resultantes da aplicação do algoritmo (Tabelas 41 a 43).

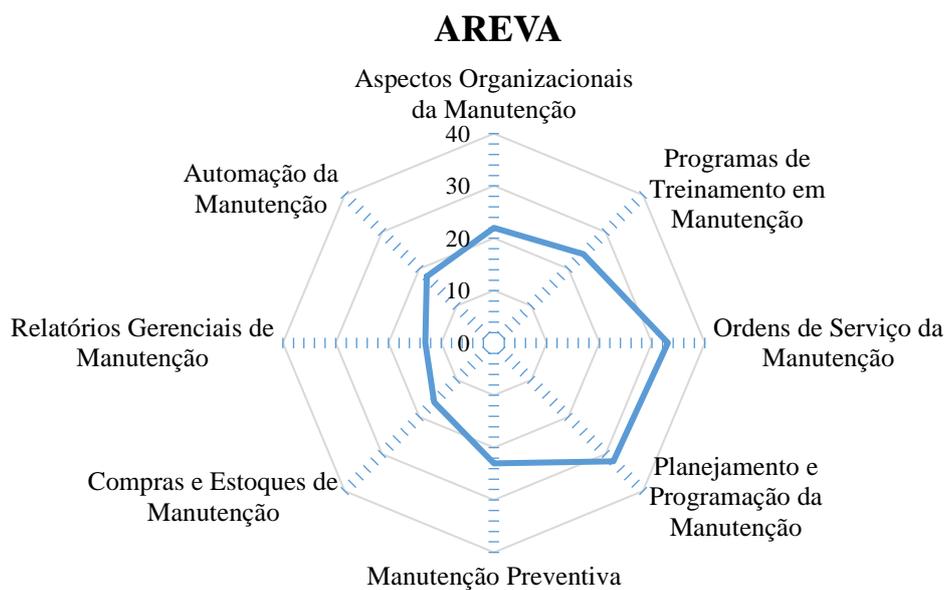
#### 6.4.1.1 AREVA

Tabela 41 – Os cinco problemas chaves da AREVA priorizados pelo algoritmo

Colocação	Tópico	Problemas da Manutenção
1º	Relatórios Gerenciais da Manutenção	<b>A14)</b> Não existem relatórios disponíveis na manutenção gerados por equipamentos importantes.
2º	Compras e Estoque de Manutenção	<b>A8)</b> Não existe listagem impressa de materiais de manutenção em estoque.
3º	Automação da Manutenção	<b>A22)</b> Menos que 70% dos sistemas automatizados existentes na manutenção, principalmente as interligações com outros sistemas, apresentam precisão e confiabilidade ou inexistem automação.
4º	Automação da Manutenção	<b>A20)</b> Menos que 40% das atividades de estoque e compras é feita por computador.
5º	Relatórios Gerenciais da Manutenção	<b>A15)</b> Não existem relatórios de MP suficientes disponíveis na manutenção.

Fonte: O Autor.

Figura 35 – Pontuação por tópicos do questionário para a AREVA



Fonte: O Autor.

Analisando a Figura 35, é possível perceber que o tópico mais crítico da empresa, ou seja, o de menor pontuação, é o de Relatórios Gerenciais da Manutenção. E é onde se encontra o 1º problema do *ranking*, ou seja, aquele que está mais relacionado ao não cumprimento dos objetivos estratégicos do negócio da empresa: o problema da não existência de relatórios gerados por equipamentos importantes. É possível perceber também que esse problema está intrinsecamente associado ao 5º problema do *ranking* (Tabela 41): a ausência de relatórios suficientes de MP. Vale salientar que a empresa já dá uma certa atenção à elaboração de relatórios de cunho administrativo, tais como: relatórios de pessoal, de custos, e de programação referente a horas programadas em relação a horas planejadas. Enquanto que não existem relatórios de estoque e compras.

O 2º problema apresentado na hierarquia: a inexistência de listagem impressa de materiais de manutenção em estoque, também se encontra em uma área bastante necessitada de melhoria, a de segunda menor pontuação, a área de Compras e Estoque da Manutenção. Esse problema de certa forma casa com o 4º problema do *ranking*: menos de 40% das atividades de estoque e compras é feita por computador, evidenciando, portanto, a terceira área de menor pontuação: Automação da Manutenção. Essa área também aponta para o terceiro problema na ordem de classificação: a inexistência de um sistema automatizado preciso e confiável que interligue as várias áreas da empresa de uma forma sistêmica.

Sobre a área de Compras e Estoque, existem pontos positivos que valem ser destacados, tais como: mais de 95% dos itens em estoque é retirado e debitado diretamente nas OS e a lista para repor estoque é enviada diariamente para o departamento de compras. Entretanto, mais controle deve ser destinado a esse setor, como a administração dos estoques através de um sistema atualizado, e de preferência informatizado. Para que se possa garantir, por exemplo, conhecimento do valor do estoque, reparos mais rápidos, correções dos níveis de estocagem, redução de custos e até previsão de demanda, através de sistemas de inteligência artificial (MIRSHAWKA & OLMEDO, 1993; DUFFUAA & RAOUF, 2015; LI et al., 2016; CHEN et al., 2010; CAO & LI, 2014).

A respeito da área de Automação da Manutenção é possível notar que planejadores/supervisores/gerentes utilizam a informática no trabalho, de forma que mais de 90% das atividades de programação e planejamento da manutenção é realizada por computador. Outro aspecto de destaque é que o setor da manutenção é consultado quando uma decisão da alta gerência o afeta, em todos os casos antes de ocorrer. Porém devem ser observadas as interligações entre as informações da manutenção e as do planejamento de produção, uma vez que a produção é quem prioriza as tarefas da manutenção.

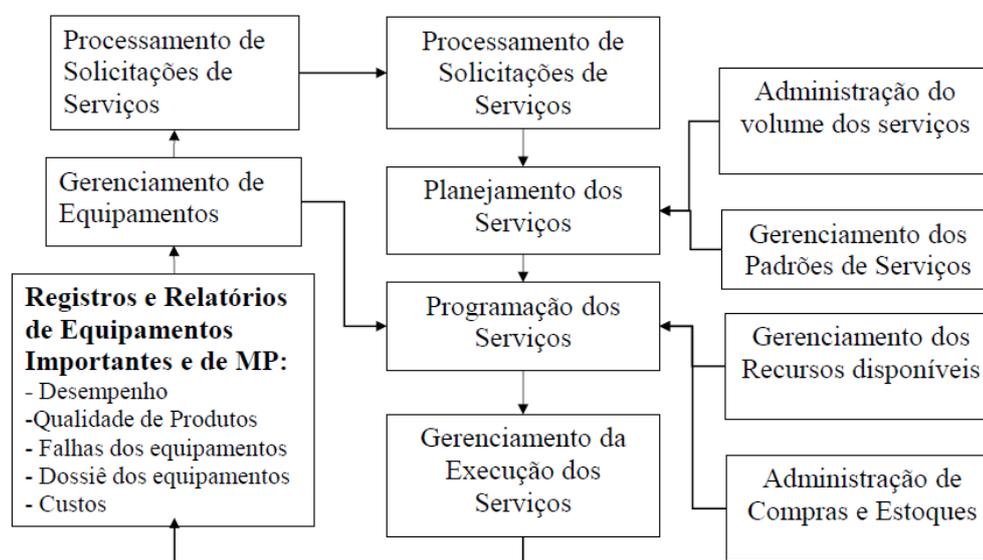
Considerando o gráfico da Figura 35 como um todo, é possível perceber que a empresa se preocupa com o Planejamento e Programação da Manutenção e com a emissão adequada de OS da Manutenção, áreas de maiores pontuações. Porém, o controle das atividades de manutenção, principalmente relacionadas aos equipamentos importantes e ao estoque e compras de materiais está passível de grande melhoria. Isso provavelmente se deve à inconsistência de um sistema de informação computadorizado capaz de registrar dados importantes referentes a esses dois tópicos.

De um modo geral, a análise MCDM realizada, utilizando a opinião dos especialistas a respeito do impacto dos problemas nos critérios de produtividade, escolhidos nesse trabalho, especificou os problemas chaves a serem priorizados para um equilíbrio das áreas críticas da manutenção. Ficou evidenciado através da aplicação do algoritmo e do gráfico radar, que a classificação da manutenção da empresa muito abaixo do que é considerado como de classe mundial se deve essencialmente a problemas da gestão administrativa de informações importantes à manutenção. O uso inadequado de sistemas de informação acaba resultando em falta de coleta de dados importantes à gestão da manutenção. Dados que acabam por não serem utilizados por outras funções corporativas, uma vez que não existe interligação com outros setores da empresa.

➤ **Recomendações para mitigação dos cinco problemas priorizados**

Conforme MIRSHAWKA & OLMEDO (1993), KUMAR et al. (2013), MUCHIRI et al. (2010), WEBER & THOMAS (2005) e outros, para gerenciar é preciso estabelecer formas de medição e para isso é importante coletar dados. Dessa forma, é de extrema importância manter registros da história dos equipamentos, seja de forma manual ou computadorizada. Além disso, é importante que se faça análises desses registros periodicamente, apontando ajustes para esforços de manutenções em geral (CUNHA, 2007). A Figura 36 ilustra um modelo de estrutura de controle bem como a importância da documentação de registros e relatórios no gerenciamento do fluxo de serviços da manutenção.

Figura 36 – Estrutura de controle do gerenciamento de serviços da manutenção



Fonte: Adaptado de Santos (2009)

MONCHY (1989) e DUFFUAA & RAOUF (2015) afirmam ainda que é indispensável que os relatórios referentes ao histórico dos equipamentos sejam documentos operacionais, ou seja: bem concebidos e mantidos em dia, proporcionais à criticidade da máquina, rápidos de consultar e fáceis de explorar. De forma que é a qualidade desses documentos uma das condições necessárias a uma política de manutenção eficaz. Para os autores, deve-se coletar, em resumo, os seguintes dados para um bom acompanhamento dos equipamentos importantes:

- Medidas de desvio de performances;
- Resultados das rondas de inspeção;
- Histórico das falhas;
- Fichas de análises de falhas;

- Consumo de lubrificantes e de energia;
- Medidas das perturbações industriais.

É através dos dados históricos das manutenções dos equipamentos que é possível, por exemplo, determinar os modos de falhas dominantes, que são modos de falha com uma frequência de falhas alta ou modos de falhas que podem pôr em risco pessoas e o patrimônio (SANTOS et. al., 2001). Além disso, desenvolver modelos de confiabilidade, controle estatístico de processo, evolução de taxas de falha, etc. (SANTOS, 2013).

Os relatórios de MP são de grande valia para investigar as deficiências da gestão da manutenção da organização, principalmente no sentido de economizar recursos. Pois contribuem para a seleção de atividades de MP que efetivamente reduzam a possibilidade de falha ou perda da função dos equipamentos (SANTOS et. al., 2001; KUMAR et al. 2013). MIRSHAWKA & OLMEDO (1993), DUFFUAA & RAOUF (2015) sugerem que os relatórios de MP devem conter:

- Data de reparo ou da MP;
- Descrição resumida do reparo ou da MP;
- Tempo de interrupção, tempo gasto para o reparo e o custo do trabalho;
- Desempenho da MP, resultados conseguidos;
- Custos dos componentes e dos materiais utilizados;
- Custo total e o acumulado até a presente data.

Percebe-se através do gráfico radar, que a área de OS é um ponto forte da empresa, apresentando uma boa pontuação. Uma das recomendações seria utilizar essa área para favorecimento da área de Relatórios Gerenciais, uma vez que as OS são documentos que contém informações uteis e que podem gerar muitos relatórios importantes. Entretanto, não basta elaborar relatórios, é importante que estes sejam endereçados às pessoas certas, àquelas que realmente tomam decisões. Nesse contexto, percebe-se que a geração e o encaminhamento de relatórios podem ser trabalhosos e consumir bastante tempo, se feitos de forma manual. Daí a importância de haver um sistema automatizado para elaboração dos relatórios e interligação com os outros setores da organização.

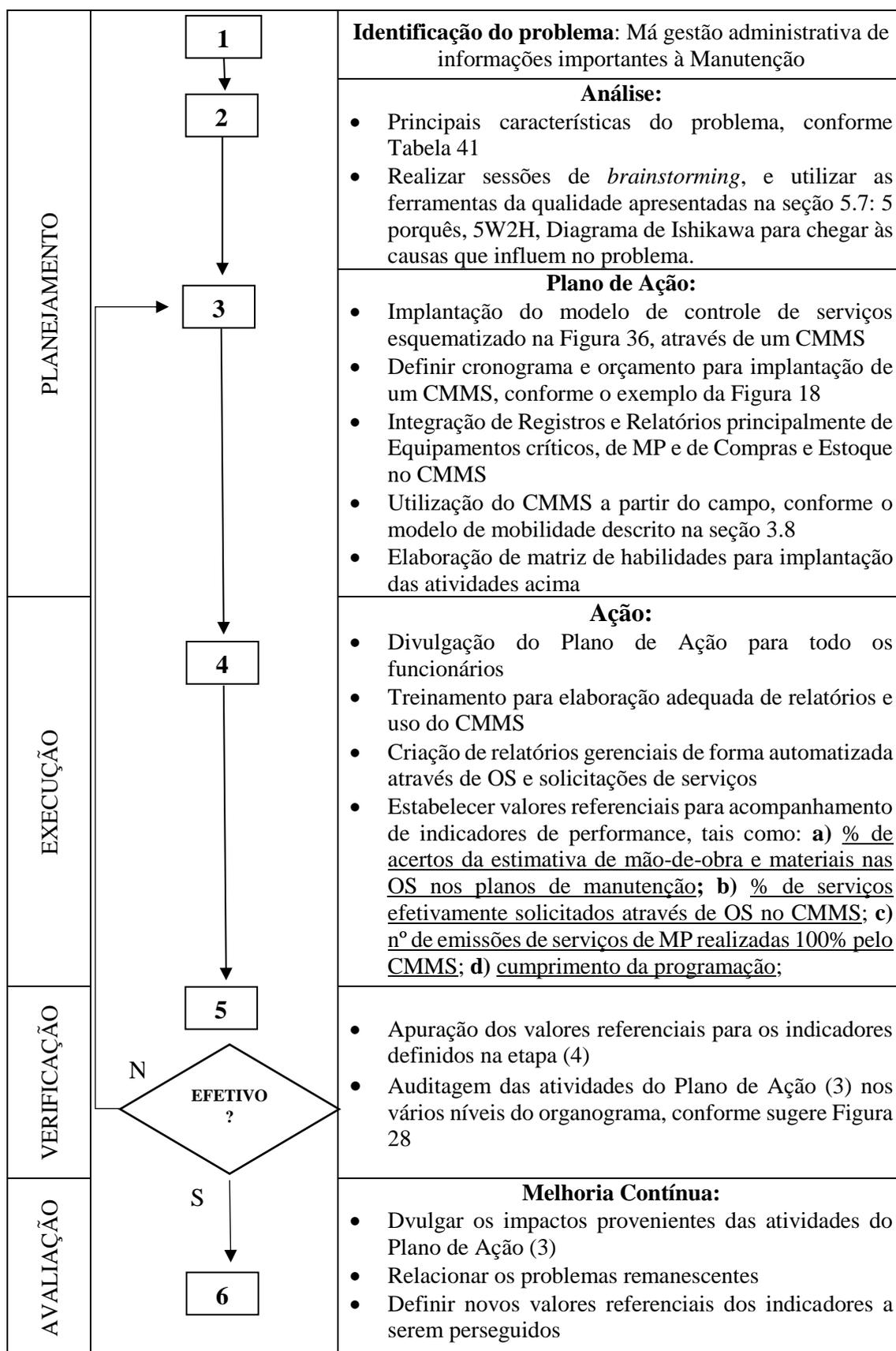
Sobre os problemas apresentados no setor de Compras e Estoque, foi visto na revisão bibliográfica a importância de os materiais em estoque estarem relacionados em uma lista constantemente atualizada e disponível para os usuários. A movimentação de peças de estoque, bem como o consumo de materiais também devem ser periodicamente reportadas aos usuários. Para isso, é altamente recomendado um sistema computadorizado *online* capaz de gerir esse

setor (DUFFUAA & RAOUF, 2015; LI et al., 2016; CHEN et al., 2010; CAO & LI, 2014; KODALI et al., 2009). MONCHY (1989) já destacava que a gestão dos estoques e dos suprimentos é uma área onde a informática deve ser “parte integrante dos costumes da empresa”, face geralmente ao grande número de informações a tratar diariamente.

Portanto, é possível perceber que a criação de um sistema automatizado pode ser a solução para resolver tantos os problemas referentes ao tópico de Relatórios Gerenciais como os de controle de Compras e Estoques. Dessa forma, como ação prioritária para mitigação dos problemas chaves da empresa, recomenda-se o desenvolvimento de um cronograma para a implantação de uma gestão informatizada sistêmica, que seja capaz de atender às múltiplas necessidades da manutenção. Além disso, o sistema deve ser interligado: contabilidade e custos da empresa, departamento de pessoal, sistema de compras, produção, atividades da manutenção (custos de matérias-primas, horas lançadas nas OS, etc.). A Figura 37 ilustra as etapas de um plano de melhoria considerando as recomendações descritas acima, evidenciando os problemas priorizados da Tabela 41.

Figura 37 – Implementação de um plano para melhorias para os problemas priorizados da

## AREVA



Fonte: O Autor.

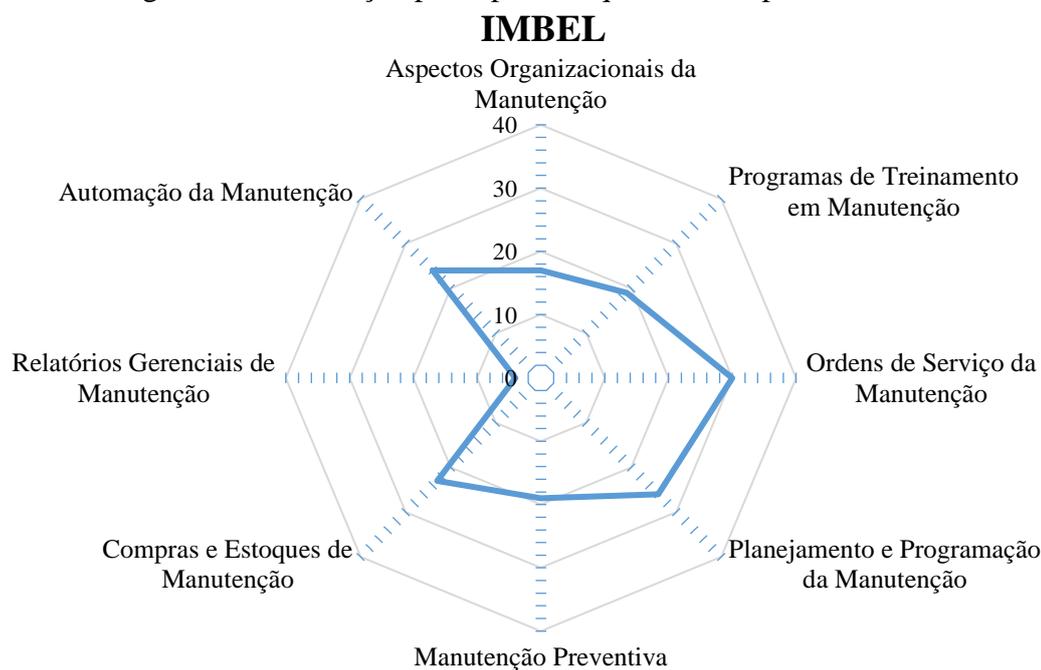
## 6.4.1.2 IMBEL

Tabela 42 – Os cinco problemas chaves da IMBEL priorizados pelo algoritmo

Colocação	Tópico	Problemas da Manutenção
1º	Planejamento e Programação da Manutenção	<b>A11)</b> Reuniões de manutenção com o pessoal de produção são realizadas com uma frequência indefinida.
2º	MP	<b>A13)</b> Menos que 40% dos programas de MP é avaliada anualmente contra dados históricos reais conseguidos para assegurar sua eficácia.
3º	Automação da Manutenção	<b>A30)</b> Menos que 70% dos sistemas automatizados existentes na manutenção, principalmente as interligações com outros sistemas, apresentam precisão e confiabilidade, ou inexistente automação.
4º	Relatórios Gerenciais da Manutenção	<b>A22)</b> Não existem relatórios disponíveis na manutenção gerados por equipamentos importantes.
5º	Relatórios Gerenciais da Manutenção	<b>A23)</b> Não existem relatórios de MP suficientes disponíveis na manutenção.

Fonte: O Autor.

Figura 38 – Pontuação por tópico do questionário para a IMBEL



Fonte: O Autor.

Observando a Figura 38, é possível perceber um forte desbalanceamento entre as áreas. O tópico Relatórios Gerenciais apresentou o pior desempenho na avaliação, com uma baixíssima pontuação. Pode-se considerar que a empresa não possui nem metade dos relatórios citados pelos autores como importantes para tomadas de decisão. Nesse aspecto, os relatórios referentes aos equipamentos importantes e os de MP são considerados como prioritários para

alcance dos objetivos da empresa, considerando os critérios de análise defendidos pela metodologia do trabalho, uma vez que a ausência desses relatórios foi considerada como 4º e 5º problema do *ranking* de problemas prioritários da Tabela 42.

O 3º problema do *ranking*: menos que 70% dos sistemas automatizados existentes na manutenção, principalmente as interligações com outros sistemas, apresentam precisão e confiabilidade, faz parte do quesito Automação da Manutenção. Esse tópico teve um bom desempenho no geral, onde: acima de 90% das operações da manutenção, das atividades de planejamento e programação da manutenção, de compras e estoque é feita por computador; esse mesmo percentual de colaboradores usam a informática no seu trabalho; e existe interligação através de sistemas *online* entre contabilidade e manutenção. Entretanto, deve ser observado a confiabilidade da interligação com os outros sistemas da empresa, principalmente com as informações referentes ao planejamento da produção.

De um modo geral, esses três últimos problemas na hierarquia de problemas para a IMBEL, também se apresentaram como parte dos cinco problemas prioritários da AREVA. Destacando mais uma vez, como esses problemas podem fazer parte das principais causas para não contribuição da manutenção para o aumento da produtividade da empresa.

O 2º problema no *ranking*: menos de 40% do programa de MP é avaliado anualmente contra dados históricos reais conseguidos para assegurar sua eficácia, pertence à área de MP. Apesar de mais de 90% das atividades programadas para MP serem efetivamente realizadas e existirem pessoas específicas em cada grupo de trabalho para realização das mesmas, essa área apresentou um baixo desempenho, com a terceira menor pontuação da avaliação, conforme o gráfico radar da Figura 38.

A baixa classificação da área de MP pode ser devido à defasagem no setor de Relatórios Gerenciais. Pois, além do 2º problema do *ranking*, a empresa apresentou outros pontos passíveis de melhoria nesse quesito, tais como: menos que 75% dos equipamentos críticos estão cobertos por um programa de MP e as frequências de inspeção são baseadas apenas em intervalos de calendário. Esses problemas podem estar sendo causados pela inexistência de relatórios importantes, que exponham, por exemplo, o *status* do equipamento. Pois, assim como descrito por SANTOS et. al. (2001); DALTRO (2017); MIRSHAWKA & OLMEDO (1993); DUFFUAA & RAOUF (2015); KODALI et al. (2009), os dados coletados sobre a história do equipamento constituem-se em uma ferramenta de muito valor para a determinação da frequência da MP e para a justificação da inspeção, teste ou substituição de uma máquina, por exemplo.

E finalmente, o primeiro problema prioritário a ser resolvido, que é o descasamento dos objetivos da Manutenção com a Produção, tendo em vista que não existe uma frequência definida de reuniões do pessoal da manutenção e produção. Esse problema faz parte da área de Planejamento e Programação da Manutenção, que obteve a segunda maior pontuação na avaliação. O bom desempenho desse tópico se deve a alguns pontos em destaque como: menos que 10% das O.S. planejadas sofrem atrasos e o planejamento das mesmas é realizado por um planejador de manutenção 100% dedicado a esse serviço; a programação dos trabalhos é emitida com uma frequência semanal.

Observa-se que apesar do Planejamento e Programação ser um dos setores mais bem pontuados, se comparado aos outros, apresentou o problema mais crítico ao alcance das metas da empresa. Segundo KARDEC & NASCIF (2017), PAI et al. (2018), HAJSHIRMOHAMMADI & WEDLEY (2004), a falta do trabalho em equipe do pessoal de manutenção e produção apresenta-se como um dos grandes problemas das organizações e é uma das maiores causas que determinam o sucesso ou o fracasso empresarial. O que foi confirmado pela metodologia do trabalho, baseada na opinião dos especialistas participantes da pesquisa.

➤ **Recomendações para mitigação dos cinco problemas priorizados**

Segundo ROSA (2006), a IMBEL vivia na época da realização da entrevista um momento de redirecionamento de metas e objetivos, procurando equacionar e parcelar suas dívidas. O que pode explicar o fraco desempenho da função manutenção da Fábrica de Itajubá. Apesar desse cenário, a empresa tinha recém-adquirido um *software* para a gestão da manutenção e os dados históricos de seus ativos já estariam em fase de migração dos arquivos manuais para o banco de dados do *software*. Da mesma forma que recomendado para a AREVA, é importante atentar para o maior nível possível de interligação entre os setores da empresa através do *software* implantado. Após a devida implantação do *software*, recomenda-se seguir as etapas da Figura 37, especificamente a partir da etapa 4.

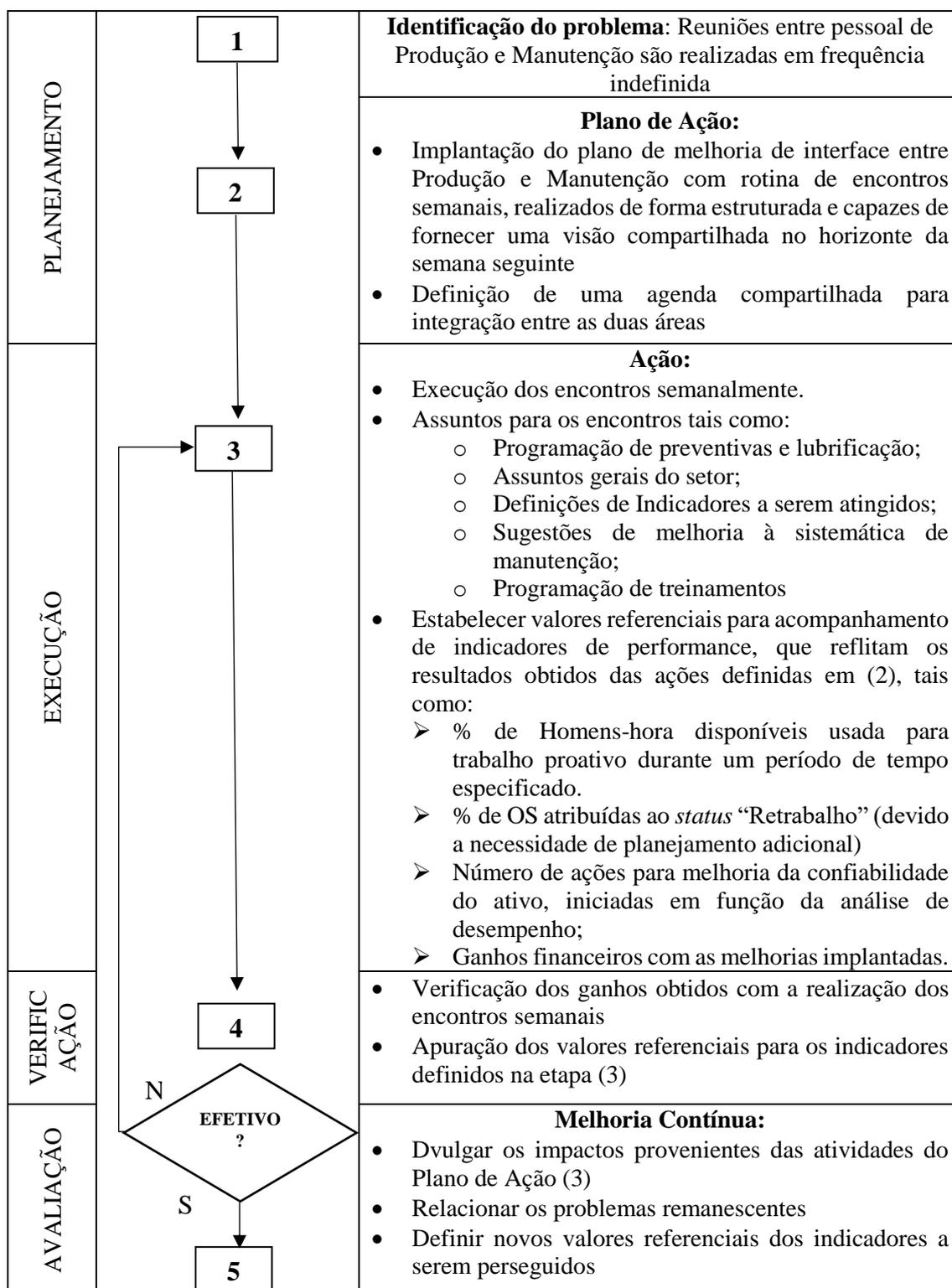
É importante, portanto, que após a devida atualização do *software* adquirido, exista uma análise crítica periódica de itens de controle tais como: disponibilidade, confiabilidade, custos, qualidade e outros específicos, através do aprimoramento da área de Relatórios Gerenciais, com foco em relatórios referentes a equipamentos importantes e às atividades de MP (KARDEC & NASCIF, 2017; KUMAR et al. 2013; KAHN et al. 2011; KODALI et al. 2009). Dessa forma, estar em constante análise da eficácia das ações da Manutenção, principalmente das atividades

de MP. As recomendações para a elaboração desses relatórios são as mesmas feitas para a AREVA.

De um modo geral, o Planejamento e Programação da Manutenção deve sempre fazer análise crítica e priorização das intervenções com base na disponibilidade, confiabilidade operacional e no resultado empresarial (KARDEC & NASCIF, 2017). Para isso é necessário que os objetivos da manutenção e produção estejam sempre alinhados. Um dos Procedimentos para uma boa programação da manutenção é a realização de reuniões periódicas, com frequência bem definida, do pessoal de manutenção com o de produção (KODALI, et al., 2009; MIRSHAWKA & OLMEDO, 1993; MURTHY et al., 2002; MALETIČ et al. , 2012). Uma recomendação é que esse tipo de ação aconteça com prioridade máxima, uma vez que é uma solução de fácil implementação, baixo custo e resolveria o problema mais prioritário da empresa, conforme Tabela 42. A Figura 39 mostra um plano de melhoria para esse problema.

Figura 39 – Implementação de um plano para melhorias para o problema mais prioritário da

## IMBEL



Fonte: O Autor.

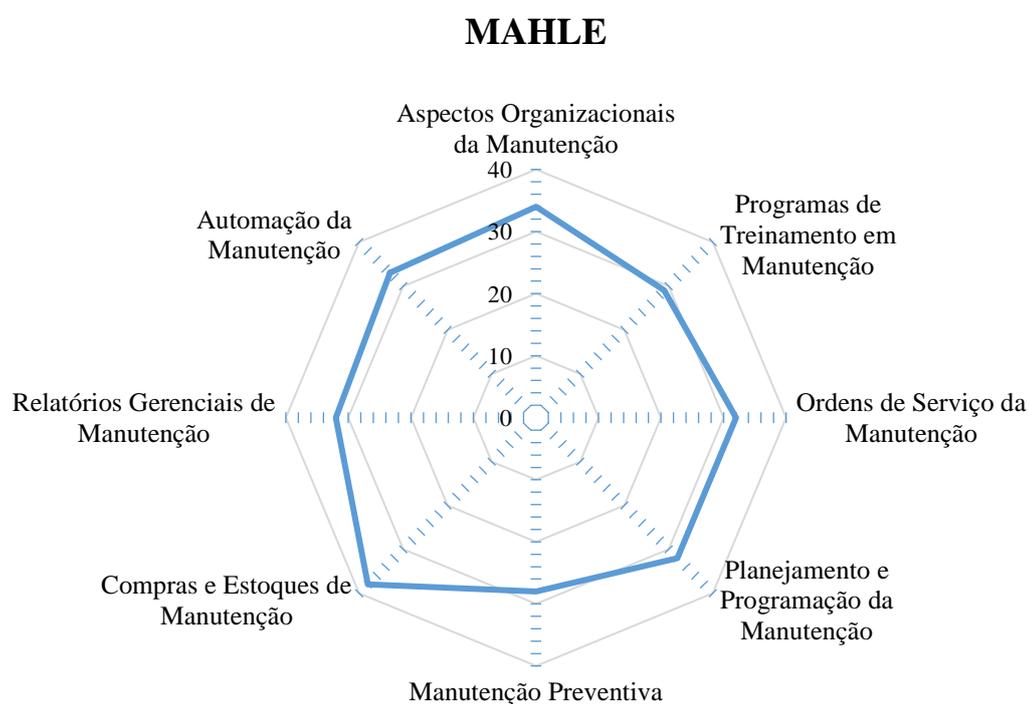
## 6.4.1.3 Mahle

Tabela 43 – Os cinco problemas chaves da MAHLE priorizados pelo algoritmo

Colocação	Tópico	Problemas da Manutenção
1º	Planejamento e Programação da Manutenção	<b>A4)</b> Reuniões de manutenção com o pessoal de produção são realizadas diariamente.
2º	MP	<b>A6)</b> Menos que 40% dos programas de MP é avaliada anualmente contra dados históricos reais conseguidos para assegurar sua eficácia.
3º	Aspectos Organizacionais	<b>A1)</b> 1 supervisor para mais de 16 funcionários diretos da manutenção.
4º	MP	<b>A7)</b> O tempo médio para concluir uma inspeção completa de MP em um equipamento importante é menos que 2 horas
5º	Planejamento e Programação da Manutenção	<b>A5)</b> Menos que 40% de acerto do planejamento comparando tempos reais com estimados.

Fonte: O Autor.

Figura 40 – Pontuação por tópico do questionário para a MAHLE



Fonte: O Autor.

Analisando a Figura 40 é notório o equilíbrio entre as oito áreas críticas da gestão da manutenção na empresa. A boa pontuação de todas as áreas exemplifica que sua manutenção

está muito próxima da de classe mundial. Fica evidenciado que a função manutenção na empresa está adequadamente estruturada e com boa autonomia e as responsabilidades do setor são bem documentadas.

Entre outros pontos positivos, destaca-se, de uma forma geral, que os treinamentos para o pessoal de manutenção ocorrem de forma regular e frequente. As informações contidas e extraídas das OS permitem a formação de banco de dados precisos e confiáveis e a emissão de relatórios gerenciais relevantes para a gestão do setor. O controle dos estoques de materiais de manutenção é da responsabilidade dos planejadores de manutenção e está integralmente automatizado. As informações de custos, dados de manutenção e contabilidade são compartilhados *online*. Todas as atividades de planejamento, programação e execução das atividades da manutenção estão automatizadas e facilmente disponíveis para acesso e análise na empresa.

O quesito referente aos Aspectos Organizacionais da Manutenção, uma das áreas mais bem pontuadas, obteve um bom resultado, em praticamente todas as questões do questionário, apresentando apenas um ponto que necessita melhoria, o 3º problema apresentado no *ranking* (Tabela 43): 1 supervisor para mais de 16 funcionários diretos da manutenção. Dentre apenas os oito problemas apresentados na manutenção da MAHLE, esse problema apresentou tal classificação pois segundo a opinião dos especialistas e revisão bibliográfica, a qualidade da manutenção está intrinsecamente ligada a uma boa supervisão (HAROUN & DUFFUAA, 2009; DUFFUAA & RAOUF, 2015; TSANG, 2002, KODALI et al., 2009). Para os autores, normalmente o problema com a supervisão, não é que não se tem bons supervisores, mas sim que eles nunca têm tempo para supervisionar. E administrar uma equipe sobre dimensionada pode ser uma das causas desse fato.

O 1º problema do *ranking*, reuniões do pessoal de manutenção com o pessoal de produção são realizadas diariamente, apresenta-se como um problema, pois remete a um mal planejamento: como se os supervisores estivessem sempre “apagando incêndio”. Apesar da programação dos trabalhos serem realizadas em uma frequência semanal, e de menos de 10% das O.S. planejadas sofrerem atraso, o 5º problema do ranking é que a porcentagem de acerto do planejamento comparando tempos reais com estimados é menor que 40%. Esse mal dimensionamento do tempo pode estar acontecendo em decorrência das solicitações diárias do pessoal da produção.

O 2º e 4º problema do *ranking* fazem parte da área de MP, que apesar do bom desempenho, foi a que apresentou menor pontuação frente às outras áreas da gestão da manutenção na empresa. O 2º problema: menos de 40% dos programas de MP são avaliados

anualmente contra dados históricos reais conseguidos para assegurar sua eficácia, assim como na IMBEL, apresentou um alto grau de prioridade. O 4º problema: menos que 2 horas é o tempo médio para concluir uma inspeção completa de MP em um equipamento importante, sugere que apesar de existirem pessoas específicas em cada grupo de trabalho para a execução das tarefas de MP, elas provavelmente não estão sendo realizadas da forma adequada. Para mensurar a adequabilidade desse tempo médio, a empresa deve avaliar a eficácia dos programas de MP. De forma que um plano de ação para resolver o 2º problema irá indicar a correção ou não desse tempo.

➤ **Recomendações para mitigação dos cinco problemas priorizados**

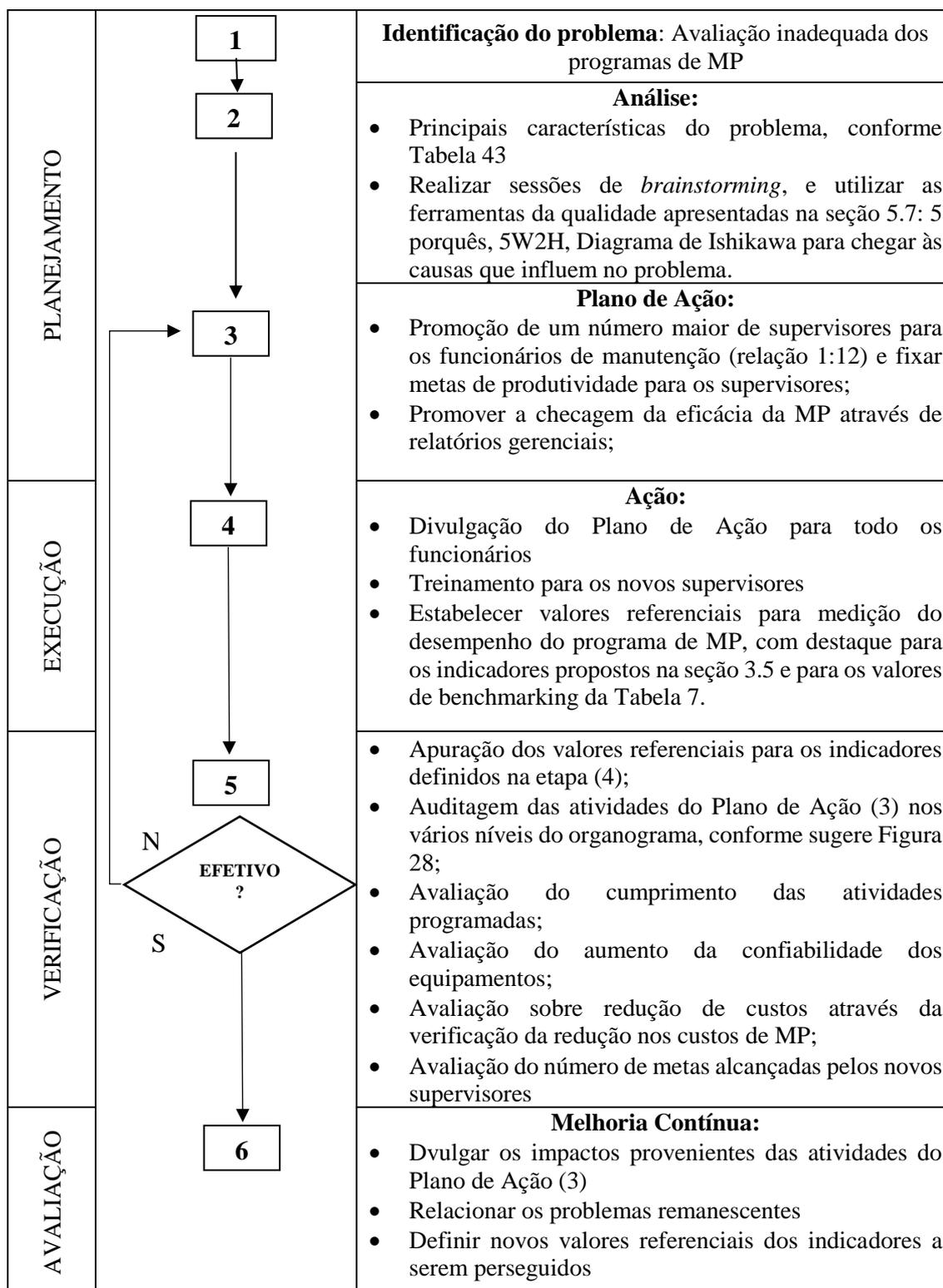
MIRSHAWKA & OLMEDO (1993) recomendam que a relação adequada entre os trabalhadores e o supervisor deve ser em média 12 trabalhadores para cada supervisor. Como na empresa já existe uma relação adequada entre planejador/programador e funcionários diretos da manutenção, uma alternativa seria reavaliar as atividades e funções direcionadas à planejadores e supervisores. O objetivo seria aliviar uma possível sobrecarga de funções que estejam nas mãos dos supervisores e redirecioná-las para os planejadores, ou ainda, utilizar o administrativo para cuidar das funções de escritório, por exemplo. Levando em consideração que a empresa já possui 100% do seu pessoal recebendo bônus baseado no desempenho do grupo/empresa, fixar metas de produtividade para os supervisores, pode resultar em melhorias na qualidade das atividades de manutenção.

Como recomendado para a IMBEL, para um bom planejamento das atividades da manutenção é necessário que o intervalo de reuniões com o pessoal de produção seja no mínimo semanal, ou ainda, mensal. Assim como para a IMBEL, sugere-se uma frequência semanal, uma vez que a programação dos trabalhos de manutenção é emitida com uma frequência também semanal. Para que assim se evite por exemplo interrupções nos serviços da manutenção pela produção e dessa forma, seja possível planejar convenientemente o trabalho como, por exemplo, horas planejadas em relação às horas padrão, e proporcione mais acertos no planejamento de tempos reais com tempos estimados.

Com relação à MP, é preciso que sua eficácia esteja sempre sendo avaliada. Através, por exemplo, dos relatórios gerenciais da MP e os gerados por equipamentos importantes. A empresa dispõe de uma boa relação desses relatórios referentes a esse conteúdo, como exemplo: lista de MP vencidas; custos em R\$ de MP por equipamento; índice (em %) de horas de MP por horas totais de manutenção; índice (em %) do custo de MP em relação aos custos totais de manutenção.

A MAHLHE deve adotar um plano de melhoria conforme a Figura 39 para a definição de reuniões semanais entre operação e manutenção, a fim de combater o seu problema mais prioritário. A Figura 41 a seguir ilustra um plano de melhorias para os outros problemas da Tabela 43.

Figura 41 – Plano de Melhorias para os problemas priorizados da MAHLE



## 7 CONCLUSÃO

O estudo da avaliação do desempenho da manutenção é, como foi visto ao longo da dissertação, um princípio fundamental do gerenciamento da manutenção. A principal questão considerada na metodologia proposta nesta dissertação inclui o seguinte: como alinhar os objetivos da função manutenção à estratégia organizacional, identificando principalmente os pontos fracos da gestão de manutenção de uma organização. Para solucionar essa questão, os mantenedores normalmente carecem de uma abordagem sistemática que auxiliem nos processos de tomada de decisão.

A presente dissertação tratou, portanto, de apresentar uma metodologia utilizando a técnica TOPSIS de ordenamento, em conjunto com a abordagem dos Conjuntos *Fuzzy*, para priorização de problemas a serem solucionados por uma organização de manutenção. Problemas esses que influenciem diretamente no alcance das estratégias organizacionais. Para o levantamento desses problemas, é proposto que a empresa faça uma auditoria conforme o processo proposto na Figura 28, utilizando o questionário aqui desenvolvido como ferramenta de avaliação. Em seguida, a metodologia propõe que esses problemas sejam avaliados de acordo com os critérios: custos, desempenho, disponibilidade e qualidade, parâmetros aqui considerados como essenciais para o alcance da produtividade total, conforme visto na revisão que se encontra na seção 5.3.

Como evidenciado no Capítulo 5, geralmente é difícil determinar a estratégia de manutenção mais adequada, devido à grande quantidade de fatores intangíveis, como habilidades de manutenção, segurança de pessoal, possível perda de produção e custo de investimento. Esses fatores, de um modo geral, exigem justificativas apropriadas dos tomadores de decisão. Além disso, em muitos casos, o tomador de decisão tem dificuldade em chegar a uma decisão por causa de informações imprecisas sobre alternativas, conforme descrito nos Capítulos 1 e 5, tornando o processo de tomada de decisão uma tarefa complexa e desafiadora.

Portanto, a metodologia proposta, e sintetizada sistematicamente no modelo da Figura 26, aparece como um procedimento formal, simples e automatizado para efetuar a priorização das ações gerenciais de manutenção, que permita o atendimento aos objetivos e estratégias da organização, considerando critérios relacionados ao alcance da máxima produtividade do negócio da empresa. Após a fase de diagnóstico do modelo, ilustrado na Figura 26, as estratégias a serem planejadas, ficam, portanto, melhor apoiadas em uma ordenação de prioridades, conforme explicitado na aplicação da metodologia no Capítulo 6. Deixando de ser uma atividade estritamente empírica e permitindo que os recursos de mão de obra sejam focados

no que é de fato mais importante e que pode gerar maiores impactos, conforme evidenciado no modelo MCDM *Fuzzy* TOPSIS proposto.

Foi visto também que a integração do método TOPSIS com os conjuntos *Fuzzy*, permite que a metodologia lide com informações imprecisas ou incertas, tais como a opinião de diversos agentes envolvidos no processo decisório, de maneira consistente, conforme descrito no Capítulo 4. Como o conceito *Fuzzy* permite o uso de descrições linguísticas em vez de valores quantitativos exatos, apresenta-se, portanto, como uma abordagem útil para avaliações da correlação existente entre cada pergunta do questionário e os critérios aplicados, por cada um dos especialistas. Além disso, permitiu a integração dos valores de cada um dos especialistas, segundo suas próprias vivências, conforme melhor visto na elaboração e unificação das matrizes de decisão nos Capítulos 5 e 6.

O desenvolvimento da metodologia proposta nesta dissertação esteve fundamentado no modelo da Figura 26. Esse modelo foi adotado especialmente para contornar as barreiras encontradas ao longo deste trabalho, que foram principalmente as perdas decorrentes da interlocução direta com as empresas questionadas. De forma que, o mesmo possa vir a ser praticado em situações similares, como por exemplo quando a empresa não tem uma base estruturada para o processo decisório, como estratégias e objetivos bem definidos, ausência de conhecimento especializado ou banco de dados. De um modo geral, o modelo, conforme Figura 26, procura apresentar um grau de abstração sistêmico, transcendendo aos detalhes e nuances administrativos dos mais diversos tipos de empresa.

Os resultados obtidos, que como enunciado e exibidos no Capítulo 6, foram além da avaliação realizada por ROSA (2006), no sentido de integrar a avaliação dos resultados do questionário com a priorização de ações específicas, conforme Figuras 37, 39 e 41, de acordo com os critérios definidos para a máxima produtividade da organização. A partir da aplicação da metodologia no Capítulo 6, observou-se, sob a perspectiva da gestão de ativos das instalações industriais de empresas com ênfase na segmentação de Engenharia Elétrica, que os problemas priorizados inter-relacionavam-se entre si e eram advindos das áreas avaliadas como mais críticas na manutenção. Os cinco problemas priorizados de cada empresa, conforme Tabelas 41 a 43 também convergiram para recomendações de estratégias capazes de mitigar sistematicamente mais de um problema, conforme apresentado nos planos de melhoria das Figuras 37, 39 e 41.

No caso da AREVA, por exemplo, analisando os cinco problemas eleitos mais prioritários conforme destacado na Tabela 42, foi possível perceber que as causas dos mesmos convergiam para uma má gestão administrativa das informações relevantes à manutenção. Isso

ficou ainda mais evidenciado através da baixa pontuação revelada pela aplicação do questionário para os Relatórios Gerenciais e para gestão de Compras e Estoque de Manutenção. O que levou a entender que esse fato, como descrito no Capítulo 6 e sustentado na revisão do Capítulo 3, era consequência do terceiro problema do *ranking*: a precariedade de um sistema de informação computadorizado incapaz de interligar todas as áreas da corporação.

Assim como ocorreu para a AREVA, a IMBEL também apresentou problemas prioritários relacionados ao controle indevido de dados, como a não elaboração de relatórios gerenciais e a não avaliação do programa de MP contra dados históricos, por exemplo. Mostrando aqui também que os primeiros problemas hierarquizados apresentaram uma interação entre si. Além desses, também apresentou desvios do que é recomendado pela literatura, como a ausência de uma frequência definida de reuniões entre pessoal de manutenção e produção.

No caso da MAHLE, apenas oito problemas foram encontrados conforme o questionário. A empresa no geral faz uso das práticas recomendadas pela MCM, como as destacadas na seção 6.4.1. Entretanto, dois problemas dentre os cinco prioritários vieram da área com menor pontuação, Manutenção Preventiva, evidenciando assim mais uma vez a coerência da metodologia. Assim como a IMBEL, a MAHLE não avalia seu programa de MP contra dados históricos, e ainda exibiu problema relacionado a falta de padronização das atividades de MP, com inspeções muito curtas. E mais uma vez, assim como ocorreu na IMBEL, o problema na posição um do *ranking* mostrou uma falta de planejamento para definição de frequência de reuniões com o pessoal da produção.

Com os resultados das análises realizadas foi possível estabelecer sugestões de tomada de decisão para estratégias baseadas no que foi pesquisado como melhores práticas do gerenciamento da manutenção. A Tabela 44 sintetiza essas análises, mostrando a correlação entre os resultados da metodologia aqui apresentada, estratégias recomendadas, e os ganhos esperados com aplicação dessas estratégias para cada uma das empresas.

Tabela 44 – Síntese da análise dos resultados da metodologia desenvolvida

	<b>Diagnóstico da Metodologia</b>	<b>Estratégias Recomendadas</b>	<b>Ganhos Esperados</b>
<b>AREVA</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Má gestão de informações importantes à manutenção</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Elaboração de Relatórios de Equipamentos importantes e de MP a partir de OS.</li> <li>Desenvolvimento de um sistema informatizado de gestão de manutenção que integre toda a empresa.</li> <li>Detalhamento para um plano de ações conforme Figura 37</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Melhor administração de ferramentas e materiais;</li> <li>Melhor controle de Mão-de-obra;</li> <li>Melhor controle dos custos;</li> <li>Identificação de tendências e oportunidades de melhorias para aumento da produtividade</li> </ul>
<b>IMBEL</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Má gestão de informações importantes à manutenção;</li> </ul>	Idem à AREVA	Idem à AREVA
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Integração inadequada entre Produção e Manutenção.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cronograma de Reuniões semanais entre pessoal de Produção e Manutenção, conforme detalha Figura 39</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Alinhamento dos objetivos da Manutenção e Produção buscando melhorar o Planejamento e Programação das atividades de Manut.</li> </ul>
<b>MAHLE</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Frequência inadequada de reuniões entre Produção e Manutenção;</li> </ul>	Idem à IMBEL	Idem à IMBEL
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Avaliação do Programa de MP passível de melhoria</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Determinação e Análise crítica de indicadores de medição de desempenho da MP, conforme detalha a Figura 41.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Comprovação dos resultados obtidos com metas previamente estabelecidas;</li> <li>Aumento da Confiabilidade dos Equipamentos;</li> <li>Melhor planejamento de recursos</li> </ul>

Fonte: O Autor.

De acordo com o diagnóstico realizado, acredita-se que as ações propostas podem auxiliar efetivamente na solução das deficiências identificadas nas empresas analisadas. De forma que venham melhorar o desempenho do setor de manutenção e, conseqüentemente, os produtos e serviços da empresa e a satisfação de seus clientes. Em suma, o modelo da Figura 26, apesar das dificuldades de implementação apresentadas na seção 5.8, possibilita que as empresas encontrem soluções com abordagens sistêmicas para os problemas prioritários da gestão da manutenção, assim como mostrado no Capítulo 6, priorizando a elevação da produtividade total da organização.

## 7.1 RECOMENDAÇÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Atribuição de pesos à opinião dos especialistas

A metodologia, da forma como foi apresentada possibilita utilizar a opinião de mais de um especialista durante a avaliação dos problemas e dos pesos dos critérios. Todavia, a mesma não atribui pesos à opinião dos especialistas consultados. Ponderar a opinião de especialistas em relação a aspectos de avaliação específicos é especialmente útil em situações em que, convém enfatizar a opinião de decisores do alto nível hierárquico da empresa, aumentando o peso de seus julgamentos, por exemplo. A fim de permitir a ponderação da opinião de especialistas, pode-se utilizar avaliações linguísticas para atribuir níveis de peso à opinião dos especialistas, analogamente à ponderação dos critérios.

- Ponderação dos pesos dos critérios de acordo com a segmentação da empresa

Para a ponderação dos pesos dos critérios apresentados na metodologia desta dissertação, recomenda-se a realização de pesquisas a fim de encontrar o julgamento adequado de acordo com a segmentação da empresa, que venha a ser, petroquímica, de aviação, siderúrgica, etc. Pesquisas que sejam feitas através de entrevistas diretas com especialistas do setor, assim como foi feito no presente trabalho para as empresas do setor elétrico brasileiro, ou ainda através de pesquisas *survey* com várias empresas do mesmo setor.

- Incorporação do MCDM *Fuzzy* TOPSIS com o Desdobramento da Função Qualidade (*Quality Function Deployment* – QFD)

Depois de obter o *ranking* de problemas prioritários a serem solucionados, a partir da metodologia proposta, pode-se utilizar o QFD para definição de metas e sugestões para as novas ações e procedimentos de melhorias para os problemas hierarquizados. Com o objetivo de considerar os principais correlacionamentos que devem se verificar entre as necessidades (entendidas como ‘o que’ se deseja) e os requisitos (entendidos como o ‘como atender’), sendo ambos relacionados entre si. O QFD é uma das ferramentas da qualidade que foi criada na década de 60 pelo japonês Yoji Akao e que tem como objetivo principal permitir que a equipe de desenvolvimento de um projeto incorpore as reais necessidades dos clientes em seus projetos de melhoria.

- Comparação de resultados com a utilização da metodologia através de outros métodos de MCDM

Comparar resultados empregando outros métodos de MCDM, através de análises de sensibilidade, por exemplo. E utilizando dados atuais de uma organização de manutenção.

## REFERÊNCIAS

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. “**NBR 5462: Confiabilidade e Manutenibilidade**”, Rio de Janeiro, 1994.
- AHUJA, I. P. S.; KHAMBA, J. S. “Total Productive Maintenance: Literature Review and Directions”, **International Journal of Quality & Reliability Management**, v. 25. n.7 pp. 709-756, 2008.
- ALMEIDA, A. T. “**Processo de decisão nas organizações, construindo modelos de multicritérios**”. São Paulo: Atlas, 2013.
- AL-NAJJAR, B.; “Accuracy, effectiveness and improvement of vibration-based maintenance in paper mills: Case studies”, **Journal of Sound and Vibration**, v. 229, n. 2, pp. 389-410, 2000.
- AL-NAJJAR, B.; ALSYOUF, I.; “Selecting the most efficient maintenance approach using Fuzzy multiple criteria decision making”, **Int. J. Prod. Econ**, v. 84, pp. 85-100, 2003.
- ALVES, G.K.A.; SINAY, M.C.F.; “A lógica Fuzzy na avaliação de desempenho ambiental de sistemas de transportes públicos.” In: SIMPÓSIO DE PESQUISA OPERACIONAL E LOGÍSTICA DA MARINHA (SPOLM), Rio de Janeiro, 2007.
- ANDRADE, E. L.; “**Introdução à Pesquisa Operacional – Métodos e modelos para tomada de decisão**”, 1. ed., Rio de Janeiro: LTC, 1998.
- ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. “**Resolução Normativa N° 729 de 28 de Junho de 2016**”, Disponível em <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2016729.pdf>. Acesso em 20 de Novembro de 2018.
- ARSHAD, M.; ISLAM, S. M.; KHALIQ, A.; “Power Transformer Asset Management”. **International Conference on Power System Technology**, Singapore, v. 2, pp. 1395-1398, 2004.
- ARTS, R. H. P. M.; KNAPP, G. M.; MANN, L.; “Some aspects of measuring maintenance performance in the process industry”, **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, v. 4, n. 1, pp. 6-11, 1998,.
- AZEVEDO, C.; “EAM – Enterprise Asset Management: Que oportunidade para se ter mais sucesso com a TPM”. **Revista eletrônica Club de Manutenimento**, n.7, dez. 2001. Disponível em: <<http://www.bhnet.com.br/tecem>>. Acesso em 10 de Novembro de 2018.
- BARTZ, T. SILUK, J.C., BARTZ, A. P. B. “Total productive maintenance – TPM: Difficulties in the implantation in metal-mechanics company”, **Revista Espacios**, v. 33, n. 6, jan. 2012
- BASHIRI, M.; BADRI, H.; HEJAZI, T. H.; “Selecting optimum maintenance strategy by Fuzzy interactive linear assignment method”, **Appl Math Model**, 2011, v. 35, n. 1, pp. 152-164, 2011.
- BEVILACQUA, M.; BRAGLIA, M.; “The analytic hierarchy process applied to maintenance strategy selection”, **Reliab. Eng. Syst. Saf.**, v. 70, pp. 71-83, 2000.
- BLANCHARD, B. S.; “**Logistics Engineering and Management**”. 4th ed. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1992.

BORAN, F. E.; GENÇ, S.; KURT, M.; AKAY, D.; “A multi-criteria intuitionistic Fuzzy group decision making for supplier selection with TOPSIS method”. **Expert Syst. Appl.**, v. 36, pp. 11363-11368, 2009.

BORJALILU, N.; GHAMBARI, M.; “Optimal maintenance strategy selection based on a Fuzzy analytical network process: A case study on a 5-MW powerhouse”. **International Journal of Engineering Business Management**, v. 10, pp. 1-10, 2018.

BORNIA, A.C.; “**Mensuração das perdas dos processos produtivos: uma abordagem metodológica de controle interno**”. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1995.

BORNIA, A. C.; “**Análise Gerencial de Custos: aplicação em empresas modernas**”, Porto Alegre: Bookman, 2002. 203p.

BOTELHO, T. G.; SANTOS, O. R.; SOUZA, S. M.; “Implementação computacional rigorosa do princípio de extensão de Zadeh”, In: II CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS FUZZY, v. 1, pp. 490-503, 2012.

BOUYSSOU, D.; “Building criteria: A prerequisite for MCDA”, In: BANA E COSTA, Carlos (Ed.), **Readings in multiple criteria decision aid**, Berlim: Springer, pp. 58-80, 1990.

BRANCO FILHO, F. G.; “**A organização, o planejamento e o controle da manutenção**”. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2008.

CABRAL, J. P. S.; “**Organização e Gestão da Manutenção: Dos conceitos a Prática**”. Lisboa: Lidel, 2004.

CALLIGARO, C.; “**Proposta de fundamentos habilitadores para a gestão da manutenção em indústrias de processamento contínuo baseada nos princípios da manutenção classe mundial**”, Dissertação (Mestrado Profissional em Engenharia de Produção) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003.

CAMPBELL, J. D.; “**Uptime: Strategies for excellence in maintenance management**”. Portland: Productivity Press, 1995.

CAO, Y.; LI, Y.; “Forecasting key spare parts of complex equipments by combining Fuzzy neural network and particle swarm optimization”, **Computer Applications and Software**, v. 31, n.10, pp. 167-179, 2014.

CARDOSO, A.; FONTES A.; SALOTTO, B.; SANTOS, V.; PEREIRA, R.; “Projeto Mega – Monitoramento Eletrônico de Gestão de Ativos”. In: XXIII SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA (SNPTEE), Foz do Iguaçu, 2015.

CCEE- CAMARA COMERCIALIZADORA DE ENERGIA ELÉTRICA, “ **Coletânea de Legislação CCEE**” 2009. **Disponível** em: <[https://www.ccee.org.br/portal/wcm/idc/groups/bibpublic\\_juridicoregulatorio/documents/contneudoccee/ccee\\_031561.pdf](https://www.ccee.org.br/portal/wcm/idc/groups/bibpublic_juridicoregulatorio/documents/contneudoccee/ccee_031561.pdf)>. Acesso em 21 de Novembro de 2018.

CHANG, H. H.; “The influence of continuous improvement and performance factors in total quality organization”, **Total Quality Management & Business Excellence**, v. 16, n. 3, pp. 413-37, 2005.

CHEN, C. T.; “Extensions of the TOPSIS for group decision-making under Fuzzy environment”, **Fuzzy Sets and Systems**, v. 114, n. 1, pp. 1-9, 2000.

CHEN S. J.; CHEN, S. M.; “A new method to measure the similarity between Fuzzy numbers”, **Proc. IEEE Int. Fuzzy Syst. Conf.**, Melbourne, Australia, pp. 1123-1126, 2001.

CHEN, F. L.; CHEN, Y. C.; KUO, J. Y.; “Applying moving back-propagation neural network and moving Fuzzy neuron network to predict the requirement of critical spare parts”, **Expert systems with Application**, v.37, issue 6, pp. 4358-4367, 2010.

CHEN, C. T.; LIN, C. T.; HUANG, S. F.; “A Fuzzy approach for supplier evaluation and selection in supply chain management”, **International Journal of Production Economics**, v. 102, n. 2, pp. 289-301, 2006.

CHENG, T.C.E.; PODOLSKY, S; “**Just-in-time manufacturing: an introduction**”, 2. ed. London: Chapman & Hall, 1996.

CHEUNG, A.; IP, W.; LU, D.; “Expert system for aircraft maintenance services industry”, **J. Qual. Mainten. Eng.**, v. 11, pp. 348-358, 2005.

CHING, H. Y.; “**Gestão baseada em custeio por atividades**”, ABM - Activity Based Management, São Paulo: Atlas, 1995.

CHURCHILL, J.; “**Complexity and Strategic Decision-Making**”, In: Éden, C.; Radford, J. (eds.) Tackling Strategic Problems. London: Sage, 1990, pp. 11-17.

CHOLASUKE, C.; BHARDWA, R.; ANTONY, J.; “The status of maintenance management in UK manufacturing organisations: results from a pilot survey”, **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, v. 10, n. 1, pp. 5-15, 2004.

COETZEE, J. L.; “A holistic approach to the maintenance problem”. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, v. 5, n. 3, pp. 276-280, 1999.

COGAN, S.; “**Activity-Based-Costing (ABC): a poderosa estratégia empresarial**”, 2. ed., Rio de Janeiro: Pioneira, 1994.

COHEN, M. A.; AGRAWAL, N.; AGRAWAL, V.; “Winning in the aftermarket”, **Harvard Business Review**, v.84 n. 5, pp. 129-138, 2006.

COLLAN, M.; LUUKKA, P.; “Evaluating R&D Projects as Investments by Using an Overall Ranking From Four New Fuzzy Similarity Measure-Based TOPSIS Variants”, **IEEE Transactions on Fuzzy Systems**, v. 22, pp. 505-515, 2014.

COOKE, F. L.; “Implementing TPM in plant maintenance: some organizational barriers”, **International Journal of Quality & Reliability Management**, v.17, n. 9, pp. 1003-1016, 2000.

COSTA, M. A.; “**Gestão Estratégica da Manutenção: Uma Oportunidade para Melhorar o Resultado Operacional**”. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Produção) - Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2013.

COSTA, W. V.; “**O uso da lógica Fuzzy como ferramenta de processo decisório para o aumento da confiabilidade no processo de manutenção dos filtros de celulose da reduc**”, Dissertação (Mestrado em Tecnologia) - Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, CEFET/RJ, 2007.

CUNHA, D. G.; “**Modelo de Manutenção Integrada para Equipamentos de Sistemas Elétricos e Ferramentas Computacionais de Suporte**”. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), 2007.

DALTRO, D.W.S. “**Análise de Dados de Ocorrências de Falhas para Diagnóstico de Início de Degradação por meio de Aplicativo Desenvolvido**” Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica), Universidade Federal de Pernambuco, 2017.

DAVIS, R. K.; “**Productivity Improvements through TPM: The Philosophy and Application of Total Productive Maintenance**”, Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1995.

DELGADO, M.; HERRERA, F.; HERRERA-VIEDMA, E.; MARTINEZ, L.; “Combining numerical and linguistic information in group decision making”, **Journal of Information Sciences**, v. 107, pp. 177-194, 1998.

DING, S. H.; KAMARUDDIN, S.; “Assessment of distance-based multi-attribute group decision-making methods from a maintenance strategy perspective”. **Journal of Industrial Engineering International**, v. 11, issue 1, pp. 73-85, 2015.

DUBOIS, D.; PRADE, H.; “**Fuzzy Sets and Systems: Theory and Applications**”, *Academic Press Inc.*, New York, 1980.

DUFFUAA, S. O.; RAOUF, A.; “**Planning and Control of Maintenance Systems Modelling and Analysis**”, 2nd ed: Springer International Publishing Switzerland, 2015.

DUPPRE, T. C.; CORBINE, R. S.; CORRER, I.; FRANCISCATO, L. S.; “**Aplicação de Ferramentas da Qualidade visando a redução dos índices de refugo de peças: Pesquisa-Ação em uma empresa do Setor de autopeças**”, In :XXXV Encontro Nacional de Engenharia de Produção – Perspectivas Globais para a Engenharia de Produção, Fortaleza, Brasil, 2015.

DUTRA, C. C.; RIBEIRO, J. L. D.; CARVALHO, M. M.; “An economic – probabilistic model for project selection and prioritization”, **International Journal of Project Management**, in press, 2014.

ESPÍNDOLA, D.; FRAZZON, E. M.; HELLINGRATH, B.; PEREIRA, C. E.; “Integrating Intelligent Maintenance Systems and Spare Parts Supply Chains”, **Proceedings of the 14th IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing**, v. 14, pp. 1017–1022, 2012.

FAGHIHINIA, E.; MOLLAVERDI, N.; “Building a maintenance policy through a multi-criterion decision-making model”, **J Ind Eng Int**, pp. 8-14, 2012.

FERREIRA, R. J. P. “**Modelagem em Manutenção Preditiva: Um Modelo Estatístico para Diagnóstico e Um Modelo de Decisão Multicritério para Inspeção**” Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2008.

FIGUEIREDO, R. S.; “**Sistemas de apuração de custos**”. In: BATALHA, M.O. (Ed.). *Gestão Agroindustrial*, São Paulo: Atlas, p.381-464, 1996.

FONTES, R. M.; “**Identificação de modelos dinâmicos com incerteza de medição através da lógica Fuzzy**”, Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial) - Universidade Federal da Bahia, 2012.

FRANCIOSI, C.; LAMBIASE, A.; MIRANDA, S.; “Sustainable Maintenance: a Periodic Preventive Maintenance Model with Sustainable Spare Parts Management”, **IFAC PapersOnLine**, v. 50, n. 1, pp. 13692–13697, 2017.

FREITAS, H.; OLIVEIRA, M.; SACCOL, A. Z.; MOSCAROLA, J.; “O método de pesquisa survey”. **Revista de Administração da USP (RAUSP)**, São Paulo, v. 35, n. 3, pp. 105-112, 2000.

FRENCH, S.; “A manifesto for the new MCDA era”, **Journal of Multi-Criteria Decision Analysis**, v. 2, n. 3, pp. 125-127, 1993.

GALAR, D.; STENSTROM, C.; PARIDA, A.; KUMAR, R.; BERGES, L.; “Human factor in maintenance performance measurement”, In: **INDUSTRIAL ENGINEERING AND ENGINEERING MANAGEMENT (IEEM), IEEE International Conference**, pp. 1569-1576, 2011a.

GALAR, D.; PARIDA, A.; KUMAR, U.; STENSTROM, C.; BERGES, L.; “Maintenance metrics: a hierarchical model of balanced scorecard”, In: **QUALITY AND RELIABILITY (ICQR), IEEE International Conference**, pp. 67-74, 2011b.

GOMES, L. F. A. M.; “**Pesquisa Operacional na Tomada de Decisões**”, 1. ed. Editora Campus: São Paulo, 2004. 384p.

GOUDARD, B.; “**Avaliação Ambiental de Alternativas de Projetos de Transporte Rodoviário com o uso da Lógica Fuzzy**”, Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) - Instituto Militar de Engenharia – IME, 2001.

GREGNANIN, A.; “**O Sistema de Manutenção Padronizado**”, Monografia - Conexão Recursos Humanos, FGV, São José dos Campos, 2002.

GUELBERT, M.; “**Estruturação de um sistema de gestão da manutenção em uma empresa do segmento automotivo**”, Dissertação (Mestrado Engenharia de Produção) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

GUIOUNI, A.; MARTEL, J. M.; “Tentative guidelines to help choosing an appropriate MCDA method”, **European Journal of Operational Research**, v. 109, n. 2, pp. 501-521, 1998.

GURSKI C. A.; RODRIGUES M.; “Planejando estrategicamente a manutenção”. In: **XXVIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO (ENEGEP)**, Rio de Janeiro, 2008.

HAJSHIRMOHAMMADI, A.; WEDLEY, W. C.; “Maintenance management – an AHP application for centralization/decentralization”, **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, v. 10, issue: 1, pp. 16-25, 2004.

HANSEN, R. C.; “**Eficiência Global dos Equipamentos – uma poderosa ferramenta de produção/manutenção para o aumento dos lucros**”. Porto Alegre, Bookman, 2006.

HAROUN, A. E.; DUFFUAA, S. O.; “**Maintenance Organization**”, Handbook of Maintenance Management and Engineering, 2009.

HEJAZI, S. R.; DOOSTPARAST, A.; HOSSEINI, S. M.; “An improved Fuzzy risk analysis based on new similarity measures of generalized Fuzzy numbers”, **Expert Syst. Appl.**, v. 38, pp. 9179-9185, 2011.

HELLINGRATH, B.; CORDES, A.; “Conceptual Approach for Integrating Condition Monitoring Information and Spare Parts Forecasting Methods”. **Production and Manufacturing Research: An Open Access Journal**, v. 2, n.1, pp. 725-737, 2014.

HELLINGRATH, B.; PEREIRA, C. E.; ESPINDOLA, D.; FRAZZON, E. M.; CORDES, A. K.; SAALMANN, P.; ZUCCOLOTTO, M.; “On the Integration of Intelligent Maintenance and Spare Parts Supply Chain Management”, **IFAC PapersOnLine**, v. 48, n. 3, pp. 983 – 988, 2015.

HERRERA, F.; HERRERA-VIDEIRA, E.; “Linguistic decision analysis: Steps for solving decision problems under linguistic information”, **Fuzzy Sets and Systems**, v. 115, pp. 67-82, 2000.

HOLSAPPLE, C. W.; WHINSTON, A. B.; “**Decision Support Systems – A knowledge-based approach**”, West Publishing Company, 1996, p.713.

HOSKEN, M. J. C.; “**Produzindo e Montando sua Qualidade**”, 2. ed., 2005.

HSIEH, C. H.; CHEN, S. H.; “Similarity of generalized Fuzzy numbers with graded mean integration representation”, **Proc. 8th Int. Fuzzy Syst. Assoc. World Congr.**, Taipei, Taiwan, pp. 551-555, 1999.

HUANG, S.; DISMUKES, J. P.; “Manufacturing productivity improvement using effectiveness metrics and simulation analysis”, **International Journal of Production Research**, v. 41, n. 3, pp. 513-527, 2003.

HWANG, C. L.; YOON, K. P.; “**Multiple Attirubtes Decision Making: Methods and Applications**”, Springer, Berlin, Germany, 1981

IMAI, Y. “**TPM como estratégia empresarial**”. Imc Internacional, São Paulo, 2000.

JAMSHIDI, M.; “**Applications of Fuzzy logic: towards high machine intelligence quotient systems**”. Prentice Hall, 1997.

JOSHUA, J.; MATHEW, S. G.; “Selection of an optimum maintenance strategy for improving the production efficiency in a casting unit”, **J Sci Technol Eng**, v. 3, n. 2, pp. 138-141, 2016.

KADER, B.; SOFIENE, D.; NIDHAL, R.; “Green management of Spare parts for an integrated optimal maintenance and production policy”, In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON AUTOMATION SCIENCE AND ENGINEERING (CASE), Taiwan, pp. 18-22, 2014.

KAHN, J.; SVANTESSON, T.; OLVER, D.; POLING, A.; “**Global Maintenance and Reliability Indicators: Fitting the Pieces Together**”, European Federation of National Maintenance Societies (EFNMS) and Society for Maintenance & Reliability Professionals (SMRP), Brussels, 2011.

KAHRAMAN, C.; ONAR, S. C.; OZTAYSI, B.; “Fuzzy multicriteria decision-making: a literature review”, **Int. J. Comput. Intell. Syst.**, v. 8, pp. 637-666, 2015.

KAPLAN, R. S.; NORTON, D. P.; “The balanced scorecard – measures that drive performance”, **Harvard Business Review**, v. 70, n. 1, pp. 71-79, 1992.

KARDEC, A.; NASCIF, J.; “**Manutenção: função estratégica**”, 4. ed., Rio de Janeiro: Qualitymark, 2017, 436 p.

KARIUKI, S. K.; “**Maintenance practices and performance of power sector in Kenya**”. Tese de MBA, University of Nairobi, 2013.

KAUFMANN, A.; GUPTA, M. M.; “**Introduction to Fuzzy Arithmetic: Theory and Applications**”, Van Nostrand Reinhold, New York, 1991.

KEENEY, R. L.; GREGORY, R. S.; “Selecting attributes to measure the achievement of objectives”, **Operations Research**, v. 53, n. 1, pp. 1-11, 2005.

KEENEY, R. L.; RAIFFA, H.; “**Decisions with multiple objectives: Preferences and value trade-offs**”. Cambridge: University Press, 1993.

KELLY, A.; “**Managing Maintenance Resources**”. Butterworth-Heine-mann, Oxford, UK, 2006.

KLIR, G. J.; YUAN, B.; “**Fuzzy Sets and Fuzzy Logic: Theory and Applications**”, USA. Prentice-Hall Inc., 1995.

KODALI, R.; MISHRA, R. P.; ANAND, G.; “Justification of world class maintenance systems using analytic hierarchy constant sum method”, **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, v. 15, issue 1, pp. 47-77, 2009.

KOMAROVA, A. D. H.; “**Transporte multimodal de cargas: análise de alternativas**”, Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) - Instituto Militar de Engenharia – IME, 2000.

KROHLING, R. A.; CAMPANHARO, V. C.; “Fuzzy TOPSIS para tomada de decisão multicritério: uma aplicação para o caso de acidentes com derramamento de óleo no mar”, In: XLI SBPO - PESQUISA OPERACIONAL NA GESTÃO DO CONHECIMENTO, pp. 1731-1742, 2009.

KUMAR, R.; GALAR, D.; PARIDA, A.; STENSTROM, C.; “Maintenance performance metrics: a state-of-the-art review”, **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, v. 19, n. 3, pp. 233-277, 2013.

LABIB, A. W.; “World-class maintenance using a computerized maintenance management system”, **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, v. 4, pp. 66-75, 1998.

LABIB, A.W.; “A decision analysis model for maintenance policy selection using a CMMS”, **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, v. 10, n. 3, pp. 191-202, 2004.

LAMPE, M.; STRASSNER, M.; FLEISCH, E.; “A ubiquitous computing environment for aircraft maintenance”, **Proceedings of the Symposium on Applied Computing**, pp. 1586-1592, 2004.

LEE, J. W.; KIM, S. H.; “Using analytic network process and goal programming for interdependent information system project selection”, **Computers and Operations Research**, v. 27, pp. 367-382, 2000.

LI, Y.; HU, H.; CAI, X.; “Value of Information Sharing in Inventory Management of Maintenance Spare Parts”, **International Journal of Database Theory and Application**, v.9, n. 7, pp. 67-82, 2016.

LIMA JUNIOR, F. R.; “**Comparação entre os métodos Fuzzy TOPSIS e Fuzzy AHP no apoio à tomada de decisão para seleção de fornecedores**”, Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013.

LIMA, J. R. T.; SANTOS, A. A. B.; SAMPAIO, R. R.; “Sistemas de Gestão da Manutenção - uma revisão bibliográfica visando estabelecer critérios para avaliação de maturidade”, In: XXX ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. São Carlos, SP, Brasil, 2010.

- LINS, B. F. E.; “Ferramentas Básicas da Qualidade”, **Ciência da Informação**, Brasília, v. 22, n. 2, pp.153-161, 1993.
- LIPE, M. G.; SALTERIO, S. E.; “The balanced scorecard: Judgmental effects of common and unique performance measures”, **The Accounting Review**, v. 75, n. 3, pp. 283–298, 2000.
- LUUKKA, P.; “Fuzzy similarity in multicriteria decision-making problem applied to supplier evaluation and selection in supply chain management”, **Adv. Artif. Intell.**, v 9. 2011.
- LYONNET, P.; “**Maintenance Planning: Methods and Mathematics**”. Chapman & Hall, 1991.
- MACEDO, P. P.; “**Modelo Multicritério Fuzzy para Melhoria da Eficiência Energética**”, Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Pernambuco, 2015.
- MADU, C.; “Competing Through Maintenance Strategies”, **International Journal of Quality and Reliability Management**, v. 17, n. 9, pp. 937-948, 2000.
- MALETIČ, D.; MALETIČ, M.; GOMIŠČEK, B.; “The relationship between continuous improvement and maintenance performance”. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, v. 18, n. 1, pp. 30-41, 2012.
- MANIYA, K. D.; BHATT, M. G.; “An alternative multiple attribute decision making methodology for solving optimal facility layout design selections problems”, **Comput. Ind. Eng.**, v. 61, n. 3, pp. 542-549, 2011.
- MARDANI, A.; JUSOH, A.; ZAVADSKAS, E. K.; “Fuzzy multiple criteria decision-making techniques and applications: Two decades review from 1994 to 2014”, **Expert Syst. Appl.**, v. 42, pp. 4126-4148, 2015.
- McGUEN, J.; “**Area and centralized maintenance control**”. In: HIGGINS, L. R., MOBLEY, R. K. *Maintenance engineering handbook*, 6. ed., USA: McGraw-Hill, 2001.
- MENDES, A. L. S.; “**Gestão do Valor nas Operações de Manutenção**”, Dissertação de (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, 2002.
- MIRSHAWKA, V.; OLMEDO, N. L.; “**Manutenção – Combate aos Custos da Não Eficácia: A Vez do Brasil**”. São Paulo: Makron Books, 1993.
- MIRSHAWKA, V.; OLMEDO, N. L.; “**TPM à moda brasileira**”. São Paulo: Makron Books: McGraw-Hill, 1994.
- MITTAL, K.; TEWARI, P. C.; KHANDUJA, D.; KAUSHIK, P. “**Application of Fuzzy TOPSIS MADM approach in ranking & underlining the problems of plywood industry in India**” *Cogent Engineering*, 2016, 3: 1155839. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1080/23311916.2016.1155839> > Acesso em 01 de Setembro de 2018.
- MOBLEY, R. K.; “**An Introduction to Predictive Maintenance**”. 2. ed. Butterworth Heinmann, 2002.
- MONCHY, F.; “**A Função Manutenção – Formação para a Gerência da Manutenção Industrial**”. São Paulo: Editora Durban, 1989.

- MOURA, A.A., “**O método dos 5 Porquês: Em busca da causa raiz**” dezembro, 2017. Disponível em: <http://www.gestaoproducaocomalexandro.com/5-porques-em-busca-da-causa-raiz/>. Acesso em: 02 de outubro de 2018.
- MUCHIRI, P.; PINTELON, L.; GELDERS, L.; MARTIN, H.; “Development of maintenance function performance measurement framework and indicators”. **International Journal of Production Economics**, v. 131, n. 1, pp. 295-302, 2011.
- MUCHIRI, P.; PINTELON, L.; “Performance measurement using overall equipment effectiveness (OEE): literature review and practical application discussion”, **International Journal of Production Research**, v. 46, n. 13, pp. 3517-3535, 2008.
- MUCHIRI, P. N.; PINTELON, L.; MARTIN, H.; DE MEYER, A. M.; “Empirical analysis of maintenance performance measurement in Belgian industries”, **International Journal of Production Research**, v. 48, n. 20, pp. 5905-5924, 2010.
- MURTHY, D. N. P.; ATRENS, A.; ECCLESTON, J. A.; “Strategic maintenance management”, **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, v. 8, n. 4, pp. 287-305, 2002.
- NASCIMENTO, M. L. S. “**Aplicação de Método Multicritério na Tomada de Decisões Gerenciais - Um Estudo na Manutenção de Equipamentos Logísticos**” Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal do Amazonas-UFAM, Manaus, 2017.
- NAKAJIMA, S.; “**Introduction to Total Productive Maintenance, TPM**”. Productivity Press, Cambridge, 1988.
- NAKAJIMA, S.; “Programa de Desarrollo del TPM: Implantación del Mantenimiento Productivo Total”. **Tecnologias de Gerencia y Produccion SA**, 4. ed. Madri, 1991.
- NEELY, A.; GREGORY, M.; PLATTS, K.; “Performance measurement system design: a literature review and research agenda”. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 25, n. 12, pp. 1228-63, 2005.
- NUNES, E. L.; “**Manutenção Centrada em confiabilidade (MCC): análise da implantação em uma sistemática de manutenção preventiva consolidada**”, Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.
- OAKLAND, J. S., “**Gerenciamento da Qualidade Total**”. São Paulo: Nobel, 1994.
- OLSON, D. L.; MOSHKOVICH, H. M.; SCHELLENBERGER, R.; MECHITOV, A. I.; “Consistency and accuracy in decision aids: Experiments with four multiattribute systems”, **Decision Sciences**, v. 26, pp. 723-748, 1995.
- OPRICOVIC, S.; TZENG, G. H.; “Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS”. **European Journal of Operational Research**, v. 156, pp. 445-455, 2004.
- OTANI, M.; MACHADO, W. V.; “A proposta de desenvolvimento de gestão da manutenção industrial na busca da excelência ou classe mundial”. **Revista Gestão Industrial**, v. 4, n. 2, 2008.
- PADOVEZE, C. L.; “**Contabilidade Gerencial: Um enfoque em sistemas de informação contábil**”, São Paulo: Atlas, 1996.

PAI, M. P.; RAMACHANDRA, C. G.; SRINIVAS, T. R.; RAGHAVENDRA, M. J.; “A Study on Usage of Total Productive Maintenance (TPM) in Selected SMEs” **IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering** 376, 2018.

PALMEIRA, J. N.; “**Manutenção Produtiva Total: o caso da Eletronorte**”, *Dissertação* (Mestrado em Administração) - Fundação Getúlio Vargas - Escola brasileira de administração pública e de empresas, 2001.

PARIDA, A.; AHREN, T.; KUMAR, U.; “Integrating maintenance performance with corporate balanced scorecard”, In: **CONDITION MONITORING AND DIAGNOSTIC ENGINEERING MANAGEMENT: COMADEM, Proceedings of the 16th International Congress**, Vaxjo Universitet, pp. 53-59, 2003.

PARIDA, A.; CHATTOPADHYAY, G.; “Development of a multi-criteria hierarchical framework for maintenance performance measurement (MPM)”, **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, v. 13, n. 3, pp. 241-258, 2007.

PARIDA, A.; KUMAR, U.; “Maintenance performance measurement (MPM): issues and challenges”. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, v. 12, n. 3, pp. 239-51, 2006.

PARRILLA, F. R.; OLIVEIRA, J. S.; DOVICO, E.; “Manutenção: Gestão Compartilhada com a Produção, Uma Experiência de Sucesso na Votorantim Celulose e Papel”. **O Papel**, São Paulo, vl. 2, p. 90-100, 2002.

PINTELON, L. M.; GELDERS, L.; “Maintenance management decision making”, **Eur. J. Oper. Res.**, v. 58, pp. 301-317, 1992.

PINTO, A. K.; “**Gestão estratégica e manutenção autônoma**”. Rio de Janeiro: Qualitymark/ABRAMAN, 2005.

RAMIS, A. C.; “Projeto Furnas MAIS – Mobilidade, Automação, Inovação e Sinergia”, In: **XXIII SNPTEE SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**, Foz do Iguaçu – PR, 2015.

RANDLE, O. A.; COLEMAN, A.; KEKWALETWE, R.; “Empirical Investigation on the Influence of Organizational Systems Mechanisms (OSM) on Employees Motivation to Effectively Use Human Resource Information Systems. A Case of South African Universities”, In: **INTERNATIONAL CONFERENCE ON ADVANCES IN COMPUTING, COMMUNICATIONS AND INFORMATICS (ICACCI)**, **IEEE Conferences**, pp. 1745-1750, 2017.

RASTEGARI, A.; SALONEN, A.; BENGTTSSON, M.; WIKTORSSON, M.; “Condition based maintenance in manufacturing industries: introducing current industrial practice and challenges”, In: **22nd. INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRODUCTION RESEARCH**, 2013.

REIS, Z. C.; DENARDIN C. D.; MILAN G. S.; “A Implantação de Planejamento e Controle da Manutenção: Um estudo de caso desenvolvido em uma empresa do ramo alimentício”, In: **VI CONGRESSO NACIONAL DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO**, Rio de Janeiro, 2010.

REZENDE, J.; BARBOSA, M. V.; MONTEIRO, A. S., LOPES, P. L.; COUTINHO, R. E. T. “Coaching como Ferramenta de Implementação para Manutenção Total Produtiva” In: **XII SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA, SEGeT**, Resende, Rio de Janeiro, 2015.

- RIIS, J. O.; “Integration and manufacturing strategy”, **Computers in Industry**, v. 19, pp. 37-50, 1992.
- RIIS, J. O.; LUXHØJ, J. T.; THORSTEINSSON, U.; “A situational maintenance model”, **International Journal of Quality and Reliability Management**, v. 14, n. 4, pp. 349-366, 1997.
- ROSA, E. B.; “**Indicadores de desempenho e sistema ABC o uso de indicadores para uma gestão eficaz do custeio e das atividades de manutenção**”, Tese (Doutorado em Engenharia de Produção), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006.
- SADIQ, R.; TEFAMARIAM, S.; “Environmental decision-making under uncertainty using intuitionistic Fuzzy analytic hierarchy process (IF-AHP)”. **Stoch. Environ. Res. Risk Assess.**, v. 23, pp. 75-91, 2009.
- SAMAT, H. A.; KAMARUDDIN, S.; AZID, I. A.; “Maintenance Performance Measurement: A Review”, **Pertanika J. Sci. & Technol**, v. 19, n. 2, pp. 199- 211, 2011.
- SANTOS, C. M. P.; “**Um Modelo para Determinação da Melhoria do Desempenho de Sistemas Turbina-Gerador**”, Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica), Universidade Federal de Santa Catarina, 1999.
- SANTOS, C. M. P.; “**Reflexões sobre Técnicas de Gestão da Manutenção Incorporando Métodos do TPM e RCM**”. In: SEMINARIO INTERNACIONAL DE MANTENIMIENTO Y SERVICIOS ASOCIADOS EN SISTEMAS ELÉCTRICOS (SIMSE CIER), Cartagena de Índias, 2003.
- SANTOS, C. M. P.; **Notas de aula Manutenção Produtiva Total**, Disponível em: <<http://gsemufpe.wordpress.com>>, 2009.
- SANTOS, C. M. P.; **Notas de aula da disciplina Mantenabilidade**, Disponível em: <<http://gsemufpe.wordpress.com>>, 2013.
- SANTOS, C. M. P.; DALIA, A. S.; SILVA, J. C.; GUERRA FILHO, L. M.; ALCOFORADO, R. C. G.; NOBREGA NETO, S. A. G.; “Um Modelo Integrado de Manutenção, MIM, suportado pelo método – TPM”, In: GENERACIÓN & TRANSMISIÓN, OPERADORES Y ADM. DE MERCADOS, Medellín, 2005.
- SANTOS, C. M. P.; JÚNIOR, E. F. O.; DIAS, A.; “Modelos de Gestão Envolvendo a Produtividade Total”, In: XVI SNPTEE, São Paulo, 2001.
- SANTOS, J. F.; “**Metodologia para Otimização da Manutenção**”. *Dissertação (Mestrado em Engenharia de Manutenção)*, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa, 2015.
- SELEME, R.; STADLER, H.; “**Controle da qualidade: As ferramentas essenciais**”. 2. ed. Curitiba: Ibpex, pp. 27- 56, 2010.
- SHIROSE, K.; “**TPM para Operarios**”. Madri: TGP Hoshin, 1994.
- SHYJITH, K.; ILANKUMARAN, M.; KUMANAN, S.; “Multi-criteria decision-making approach to evaluate optimum maintenance strategy in textile industry”, **J. Qual. Mainten. Eng.**, v. 14, pp. 375 – 386, 2008.
- SINK, D. S.; TUTTLE, T. C.; “**Planejamento e medição para a performance**”, Rio de Janeiro: Qualitymark Editora, 1993.

- SLACK, N.; **“Vantagem competitiva em manufatura: atingindo competitividade nas operações industriais”**. São Paulo: Editora Atlas, 1993.
- SLACK, N.; CHAMBERS, S.; HARLAND, C.; HARRISON, A.; JOHNSTON, R.; ET AL. **Administração da Produção**. São Paulo: Editora Atlas, 1999.
- SLACK N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R.; **“Administração da Produção”**. 2 ed. São Paulo: Editora Atlas, 2002.
- SMRP; **“SMRP Best Practice Metrics”**, McLean, VA, 2011. Disponível em <[www.smrp.org](http://www.smrp.org)>. Acesso em 29 de Outubro de 2018.
- SOUSA, T.; CORRER, I.; FRANCISCATO, L. S.; FRANCISCATO, R. S.; FRANCISCHETTI, C. E.; **“Implementação do indicador de eficiência global de equipamentos (OEE) para identificar o impacto da disponibilidade das máquinas em linhas de produção”**, **Revista Latino-Americana de Inovação e Engenharia de Produção**, v. 4, n. 5, pp. 140-155, 2016.
- SOUZA, J. B.; **“Alinhamento das estratégias do Planejamento e Controle da Manutenção (PCM) com as finalidades e função do Planejamento e Controle da Produção (PCP): Uma abordagem Analítica”**, Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Ponta Grossa, 2008.
- SRIVASTAVA P.; KHANDUJA D.; AGRAWAL V. P.; **“A framework of Fuzzy integrated MADM and GMA for maintenance strategy selection based on agile enabler attributes”**, **Mathematics-in-Industry Case Studies**, v. 8, n. 5, 2017.
- STEFANINI, P.; **“Metodi di Ricerca e Prevenzione dei Guasti”**. 2. ed. Milano: Tecniche Nuove, 2011.
- STEWART, T. J.; **“A critical survey on the status of multiple criteria decision making theory and practice”**. **Omega**, v. 20, pp. 569-586, 1992.
- STEWART, T. J.; **“Decision-making approaches”**, **Encyclopedia of Information Systems**, v. 1, pp. 535-549, 2003.
- STEWART, T. J.; LOSA, F. B.; **“Towards reconciling outranking and value measurement practice”**, **European Journal of Operational Research**, v. 145, n. 3, pp. 645-659, 2003.
- STICKDORN, M.; SCHNEIDER, J.; **“Isto é Design Thinking de Serviços: Fundamentos, Ferramentas, Casos”**. 1. ed., Porto Alegre: Bookman, 2014, 168 p.
- STONER, J. A. F.; FREEMAN, R. E. **“Administração”**. In. [S.l.: s.n.], 1999, p. 231.
- SUZUKI, T.; **“TPM in Process Industries”**. 1st. ed., Nova York: Productivity Press, 1994.
- SWANSON, L.; **“Linking maintenance strategies to performance”**, **International Journal of Production Economics**, v. 70, n. 3, pp. 237-244, 2001.
- TAKAHASHI, Y.; OSADA, T.; **“TPM/MPT: manutenção produtiva total”**. Instituto IMAM, São Paulo, 1993.
- TAJIRI M.; GOTOH E.; **“TPM Implementation: A Japanese Approach”**. New York: McGraw-Hill, 1992.
- TAVARES, L.; **“Administração moderna da manutenção”**. Novo Polo, Rio de Janeiro, 1999.

TAYLOR, M.; **“Final Report - TATEM (Technologies and Techniques for New Maintenance Concepts)”**. European Commission, Brussels, 2008.

THORSTEINSSON U.; HAGE, C.; “Maintenance Management Profiles for Industrial Systems,” **Operational Reliability and Systematic Maintenance**, K. Holmberg and A. Folkesson, eds., pp 283-303, 1991.

TRIANANTAPHYLLOU, E.; **“Multi-criteria Decision Making Methods, Multi-criteria Decision Making Methods: a Comparative Study”**. Springer, pp. 5-21, 2000.

TRIANANTAPHYLLOU, E.; KOVALERCHUK, B.; MANN, L.; KNAPP, G. M.; “Determining the most important criteria in maintenance decision making”. **J. Qual. Mainten. Eng.**, v. 3, pp.16-28, 1997.

TSANG, A. H.; “Condition-based maintenance: tools and decision making”. **J. Qual.Mainten. Eng.**, vol. 1, pp. 3-17, 1995.

TSANG, A. H. C.; “A strategic approach to managing maintenance performance”, **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, v. 4, n. 2, pp. 87-94, 1998.

TSANG, A. H. C.; “Strategic dimensions of maintenance management”, **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, v. 8, n. 1, pp. 7-39, 2002.

VIANA, H. R. G.; **“PCM: planejamento e controle da manutenção”**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002

VIANA, H. R. G.; **“Fatores de sucesso para gestão da manutenção de ativos: um modelo para elaboração de um plano diretor de manutenção”**, Tese de doutorado, Porto Alegre, 2013.

VINCKE, P.; **“Multicriteria decision-aid”**. Bruxelles, João Wiley & Sons, 1992.

VON ALTROCK, C.; **“Fuzzy logic and neuroFuzzy applications explained”**. Prentice Hall, 1995.

WEBER, A.; THOMAS, R.; **“Key Performance Indicators: Measuring and Managing the Maintenance Function”**, Ivara Corporation, Ontario, 2005.

WEI, S. H.; CHEN, S. M.; “A new approach for Fuzzy risk analysis based on similarity measures of generalized Fuzzy numbers”, **Expert Syst. Appl.**, v. 36, pp. 589-598, 2009.

WINSTON, W.; **“Operations Research: applications and algorithms”**, 4. ed., Thomson/Duxbury, 2004, 1440 p.

WIREMAN, T.; **“World Class Maintenance Management”**, New York: Industrial Press, 1991.

WIREMAN, T.; **“Developing Performance Indicators for Managing Maintenance”**. Nova York: Industrial Press, 1998.

XAVIER, J. N.. Manutenção Classe mundial. Congresso Brasileiro de Manutenção. Salvador: ABRAMAN, 2005. **Disponível** em: <<http://www.tecem.com.br/downloads/manutencao.pdf>>. Acesso em: 16 de Maio de 2018.

XAVIER, J. N.. e-book **“Indicadores de Manutenção”**, 2017 **Disponível** em <<http://www.tecem.com.br/downloads/manutencao.pdf>> Acesso em 16 de Maio 2018.

YEH, C. H.; DENG, H.; “A practical approach to Fuzzy utilities comparison in Fuzzy multicriteria analysis”, **International Journal of Approximate Reasoning**, v. 35, pp. 179-194, 2004.

YOSHIKAZU, T.; “**TPM: Total Productive Maintenance**”, Productivity Incorporated, Shelton, CT, 1990.

ZADEH, L. A.; “Fuzzy Sets”, **Information and Control**, v. 8, issue 3, pp. 338-353, 1965.

ZADEH, L. A.; “Similarity relations and Fuzzy orderings”, **Information Sciences**, v. 3, pp. 177-200, 1971.

ZADEH, L. A.; “The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning”, **Information Sciences**, vol. 8, pp. 199-249 (I), pp. 301-357(II), 1975.

ZANAKIS, S. H.; SOLOMON, A.; WISHART, N.; DUBLISHC, S.; “Multi-attribute decision making: A simulation comparison of select methods”, **European Journal of Operational Research**, v. 107, n. 3, pp. 507-529, 1998.

ZIMMERMANN, H. J.; “**Fuzzy Set Theory and its Applications**”, 2nd ed. Kluwer Academic Publishers, Boston, Dordrecht, London, 1991.

**APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO DESENVOLVIDO COMO COMPLEMENTO AO QUESTIONÁRIO DE MIRSHAWKA & OLMEDO (1993):**

**1. Caracterização da Empresa**

Razão Social da empresa:

\_\_\_\_\_

Data de fundação da empresa: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_.

Estado/Cidade: \_\_\_\_\_

DDD e Telefone: \_\_\_\_\_

E-mail: \_\_\_\_\_

O nome de sua empresa poderá ser divulgado como participante da pesquisa?

( ) Sim ( ) Não

1.1. Qual o total de empregados da empresa?

( ) 20 a 99

( ) 100 a 499

( ) 500 a 1000

( ) Acima 1000

1.2. Qual o Total de empregados próprios na manutenção (mão de obra direta e indireta):

( ) 0 a 50

( ) 51 a 100

( ) 101 a 200

( ) 201 a 500

( ) 501 a 1000

( ) Acima de 1000

1.3. Qual a receita bruta anual da empresa?

( ) Até R\$ 60.000,00

( ) De R\$ 60.000,01 Até R\$ 360.000,00

( ) De R\$ 360.000,01 até R\$ 3.600.000,00

## 1.4. Estrutura Societária

Sócios (nomes)	Funções / Participação acionária

## 1.5. Principais Matérias-primas

Matérias-primas	Ano C	Ano B	Ano A
	Exercício do ano anterior ao B	Exercício do ano anterior ao A	Exercício do ano anterior
Total			

## 1.6. Principais Produtos

Produtos	B		A	
	Exercício do ano anterior ao A		Exercício do ano anterior	
	% Faturamento	Qtde.	% Faturamento	Qtde.
Total				

## 1.6. Investimentos Realizados

Itens do investimento (R\$)	C	B	A
	Exercício do ano anterior ao B	Exercício do ano anterior ao A	Exercício do ano anterior
Equipamentos nacionais/importados			
Obras civis			
Desenvolvimento de produtos/Inovação			
Sustentabilidade			
Automação: administração /produção/manutenção			
Total dos investimentos efetivos			

## 1.7. Indicadores Econômico-financeiros

Indicadores econômico-financeiros		C	B	A
		Exercício do ano anterior ao B	Exercício do ano anterior ao A	Exercício do ano anterior
Faturamento bruto total (R\$)				
Mercado interno (% sobre faturamento)	Estados			
Total do mercado interno (% sobre faturamento)				
Mercado externo (% sobre faturamento)	América do Norte			
	Europa			
	América Latina			
	Ásia			
Total do mercado externo (% sobre faturamento)				
Montante de importações (%)	Matéria-prima			
	Produtos			

## 1.8. Indicadores Técnicos

Indicadores técnicos (referentes ao principal produto)		C	B	A
		Exercício do ano anterior ao B	Exercício do ano anterior ao A	Exercício do ano anterior
Capacidade de produção instalada (unidades)				
Capacidade utilizada (%)				
Defeitos apurados durante a produção, em relação ao total produzido (%)				
Retrabalho sobre a produção defeituosa (%)				
Devolução de mercadorias (%)				
Percentual de pedidos do produto principal entregue no prazo				
Prazo médio de estoque (em dias)				
Matérias-primas				
Produtos				
Componentes				
Tempo Médio: 1. Na produção do principal produto_____.2. Entrega do produto principal ao cliente a partir da data do pedido._____.				
Há gargalos na produção? Onde?				



	Certificação de qualidade		Programa 5S
--	---------------------------	--	-------------

1.12. Tendo em vista as condições atuais dos mercados interno e externo para o seu setor, assinale o grau de importância das estratégias que a empresa pretende adotar para aumentar a competitividade. Deixe em branco as estratégias que não irá adotar.

ESTRATÉGIA	IMPORTÂNCIA		
	MI	I	PI
Diminuir o preço de venda			
Reduzir o prazo de entrega			
Assegurar a conformidade dos produtos às especificações técnicas			
Aumentar o atendimento às necessidades dos clientes			
Melhorar a qualidade dos insumos			
Lançar novos produtos com maior frequência			
Aumentar o número de linhas de produtos			
Diminuir o número de linhas de produtos			
Desenvolver novas tecnologias de manufatura			
Atuar no mercado externo			
Desenvolver gestão de marcas			
Utilizar <i>e-commerce</i>			
Desenvolver instrumentos de propaganda e <i>marketing</i>			
Outras: _____			

\*MI= Muito Importante      I= Importante      PI= Pouco Importante

### 1.13. Recursos Humanos

	C	B	A
	Exercício do ano anterior ao B	Exercício do ano anterior ao A	Exercício do ano anterior
Funcionários da produção			
Funcionários da manutenção			
Funcionários da administração			
<b>Número total de funcionários</b>			

1.14. Indique o número de funcionários da empresa de acordo com seu grau de escolaridade:

Grau de Escolaridade	Nº de Funcionários
Não alfabetizados	
Ensino Fundamental	
Ensino Médio	
Ensino Superior	

1.15. A empresa desenvolve programas de treinamento? ( ) Sim. ( ) Não.

<b>Ambiente</b>	<b>Quantidade de horas</b>
INTERNO	
EXTERNO	

1.16. Total da folha de pagamentos (com encargos):

R\$: \_\_\_\_\_

## **2. ASPECTOS ORGANIZACIONAIS**

2.1. Perfil do pessoal próprio da manutenção por classificação funcional (em %)

<b>Nível superior</b>	<b>Técnico de Nível Médio</b>	<b>Mão de Obra Não Qualificada</b>
a. Acima de 15%	a. Acima de 20%	a. 0 a 5 %
b. 11 a 15%	b. 16 a 20%	b. 6 a 10%
c. 7 a 10%	c. 11 a 15%	c. 11 a 15%
d. 4 a 6%	d. 6 a 10 %	d. 16 a 20%
e. 0 a 3%	e. 0 a 5%	e. Acima de 20%

2.2. Como é a estrutura do setor da manutenção da sua empresa?

- a. Estrutura mista, onde cada área/processo tem uma equipe própria, mas a função de manutenção é centralizada por um órgão que gerencia e controla os processos e pessoas envolvidas.
- b. Estrutura centralizada, onde há uma equipe própria de manutenção para cada processo ou área com sua gerencia própria.
- c. Estrutura centralizada, havendo apenas uma equipe de manutenção que atua em toda a empresa, com uma estrutura enxuta, mas eficiente.
- d. Estrutura centralizada, havendo apenas uma equipe de manutenção que atua em toda a empresa, e por isso acaba sendo ineficiente.
- e. O setor da manutenção não se encaixa em nenhuma alternativa acima, não havendo uma organização padrão para o setor da manutenção.

2.3. A quantos níveis de distância da presidência da empresa encontra-se a área da gestão da manutenção no organograma da empresa?

- a. Um
- b. Dois
- c. Três

- d. Quatro
- e. Mais de quatro

2.4. O pessoal de gerencia/supervisão participa dos serviços de manutenção?

- a. Sim, sempre trabalham em conjunto com o pessoal de manutenção.
- b. Sim, trabalham em conjunto com o pessoal de manutenção, mas esporadicamente, geralmente nas atividades mais importantes.
- c. Executam apenas alguns trabalhos de rotina.
- d. Atuam apenas na falta de pessoal
- e. Não

2.5. A atual estrutura organizacional da manutenção atende às expectativas e à demanda pelo setor dentro da empresa?

- a. Sim, os serviços são sempre atendidos dentro do tempo esperado e de acordo com os procedimentos.
- b. Sim, na maioria das vezes, os serviços são atendidos dentro do tempo esperado e de acordo com os procedimentos.
- c. Sim, os serviços geralmente são atendidos no tempo determinado, mas há falhas na organização do setor.
- d. Não, na grande maioria das vezes os serviços sofrem atrasos ou são realizados com uma má qualidade.
- e. Nunca atende.

2.6. Como é a política de dimensionamento de pessoal da manutenção? E como você a avalia?

- a. Para todas as atividades através do software de gerenciamento da manutenção ou através de técnicas probabilísticas como teoria das filas, por exemplo, ou por simulação, sendo uma política bastante eficaz.
- b. Para algumas atividades através do software de gerenciamento da manutenção ou de técnicas probabilísticas como teoria das filas, por exemplo, ou por simulação, sendo uma política eficaz quando utilizada.
- c. Através do software de gerenciamento da manutenção ou de técnicas probabilísticas como teoria das filas, por exemplo, ou por simulação, mas na maioria das vezes não é eficaz, sendo necessário o redimensionamento.
- d. Apenas pela experiência gerencial, de acordo com o volume de serviços.
- e. Apenas de acordo com a disponibilidade de recursos, e na grande maioria das atividades sendo necessário o redimensionamento.

2.7. Como você avalia o desempenho do nível hierárquico que está logo acima do seu nível, no que diz respeito aos assuntos da manutenção?

- a. Lideram ações de melhoria e estão comprometidos com os resultados, além de promoverem reuniões de conscientização com participação dos colaboradores para a organização da manutenção.
- b. Lideram ações de melhoria e demonstram comprometimento com os resultados, mas nunca ou quase nunca buscam contato com os colaboradores.
- c. Poderiam ser mais comprometidos e participar mais ativamente da rotina da manutenção, para proposta de ações mais coerentes com os objetivos da área.
- d. Adotam medidas incoerentes ou não comunicam aos colaboradores sobre as ações que estão sendo tomadas, além disso, poderiam ser mais participativos.
- e. Não participam da rotina da manutenção, não são proativos e nem comprometidos. Poucas ou pouquíssimas ações de melhoria são propostas.

### ***3. PLANEJAMENTO E PROGRAMAÇÃO DA MANUTENÇÃO***

3.1. A empresa possui um planejamento estratégico com objetivos bem definidos nos quais a área de manutenção contribui decisivamente para o alcance destes objetivos e metas?

- a. Sim, possui Planejamento Estratégico e a manutenção participa ativamente, alcançando sempre as metas definidas pela empresa.
- b. Sim, a manutenção está inserida e participa ativamente no planejamento estratégico da empresa, mas a manutenção contribui pouco para o alcance dos objetivos.
- c. Sim, a manutenção está inserida e participa ativamente no planejamento estratégico da empresa, mas a manutenção não consegue contribuir para o alcance dos objetivos.
- d. Sim, a empresa possui Planejamento Estratégico, mas a área de manutenção não está inserida nos objetivos traçados.
- e. A empresa não possui Planejamento Estratégico.

3.2. A estratégia da empresa está alinhada a estratégia do setor de manutenção?

- a. Sempre. Os objetivos da empresa são ditados pelo setor de manutenção;
- b. Na grande maioria das vezes as metas da empresa são definidas a partir das metas da manutenção;
- c. Regularmente. A manutenção tem que mudar seus objetivos algumas vezes para se alinhar aos objetivos da empresa;

- d. Não, a estratégia da empresa está sempre relacionada a estratégia da produção. Portanto, o setor de manutenção tem sempre que se adequar as estratégias da produção.
- e. Nunca, a estratégia da empresa visa exclusivamente garantir a sua sobrevivência pela lucratividade

Quais são as metas e prioridades declaradas da gerencia superior da sua empresa?

---

---

---

Quais são as metas e prioridades declaradas do setor da manutenção da sua empresa?

---

---

---

### 3.3. Existe algum sistema de planejamento e controle da manutenção?

- a. Sim, é informatizado e planeja, controla, prioriza e gerencia todos os serviços ligados à manutenção, apresentando excelentes resultados em termos de disponibilidade, registro e análise de falhas, acompanhamento de serviços e comprometimento com os resultados da organização.
- b. Sim, é realizado manualmente, e engloba todos os serviços de manutenção, trazendo excelentes resultados em termos de disponibilidade de máquinas, acompanhamento de serviços, registro e análise de falhas e comprometimento com os resultados da organização.
- c. Sim, é informatizado e planeja, controla, prioriza e gerencia todos os serviços ligados à manutenção, mas não consegue ser eficaz no sentido de fornecer boa disponibilidade dos equipamentos e eventualmente há falhas de priorização ou de alocação dos recursos.
- d. Sim, é realizado manualmente e engloba todos os serviços de manutenção, mas não consegue ser eficaz no sentido de fornecer boa disponibilidade dos equipamentos e eventualmente há falhas de priorização ou de alocação dos recursos.
- e. Não, não existe qualquer sistema que planeje e controle os serviços ligados à manutenção.

3.4. Qual(is) da(s) os modelos de manutenção ou ferramentas da qualidade abaixo é(são) utilizada(s)?

- ( ) MCC ou RCM – Manutenção Centrada em Confiabilidade
- ( ) MPT ou TPM – Manutenção Produtiva Total
- ( ) Indicadores de Manutenção
- ( ) Programa 5S
- ( ) Seis Sigma ou Six Sigma
- ( ) FMEA (Análise dos Modos e Efeitos de Falha)
- ( ) FMECA (Análise dos Modos, Efeitos e Criticidade de Falha)
- ( ) FTA ( Análise da Árvore de Falhas)
- ( ) Outros \_\_\_\_\_

3.5. A área de manutenção possui indicadores para medir seu desempenho, realizando análises periódicas destes indicadores?

- a. Sim, planeja objetivos coerentes e mede-os através dos indicadores, que são atualizados e analisados periodicamente, alcançando sempre os objetivos traçados.
- b. Sim, planeja objetivos coerentes e mede-os através dos indicadores, que apesar de não serem atualizados e analisados periodicamente, auxiliam a alcançar os objetivos do setor.
- c. Sim, planeja objetivos coerentes e mede-os através dos indicadores, que são atualizados e analisados periodicamente, porém nem sempre alcança os objetivos traçados.
- d. Sim, mede-se o desempenho da manutenção através de indicadores, mas esses são raramente analisados ou atualizados, não contribuindo em alcançar os objetivos traçados pelo setor.
- e. Não, a área não possui indicadores.

3.6. Caso o desempenho da manutenção seja acompanhado através de indicadores, quais são os principais indicadores?

OBS: Para cada indicador abaixo utilizado na sua empresa, informar quais valores referenciais são almejados, classificando-os por tipo de equipamentos em: **Muito críticos (MC) e Pouco Críticos (PC)**. Considere o período de avaliação de 1 ano.

- ( ) **Tempo Médio Entre Falhas (MTBF)**

MTBF= tempo total de funcionamento correto em 1 ano / número de falhas em 1 ano

	<b>MC</b>	<b>PC</b>
Valores referenciais		

MC- Muito Crítico; PC-Pouco Crítico

( ) **Tempo Médio Para Reparo (MTTR)**

MTTR= total de horas de sistema parado ocasionado por falhas durante 1 ano / número de falhas em 1 ano

	<b>MC</b>	<b>PC</b>
Valores referenciais		

MC- Muito Crítico; PC-Pouco Crítico

( ) **Disponibilidade (D)**

D = tempo (em horas) disponível em 1 ano/ (tempo (em horas) disponível + tempo (em horas) indisponível) ou

$$D = \text{MTBF} / (\text{MTBF} + \text{MTTR}) \times 100 \%$$

	<b>MC</b>	<b>PC</b>
Valores referenciais		

MC- Muito Crítico; PC-Pouco Crítico

( ) **Cumprimento dos planos de manutenção Preventiva/Preditiva (MP)**

MP = (tarefas **realizadas** no programa de manutenção preditiva e/ou preventiva em 1 ano) / (tarefas **programadas** no programa de manutenção preditiva e/ou preventiva em 1 ano)

**Valor referencial:** \_\_\_\_\_

( ) **Custo total (anual) de manutenção por faturamento bruto (CMF)**

CMF = [custo (anual) total de manutenção (materiais, serviços, mão de obra própria e terceiros) (R\$)] / (Faturamento bruto (R\$))

**Valor referencial:** \_\_\_\_\_

( ) **Total de horas paradas referentes ao tempo de manutenção preventiva (PIP)**

PIP = (Horas paradas por intervenção de preventiva/ Total de horas paradas)

**Valor referencial:** \_\_\_\_\_

( ) **Alocação de mão de obra em serviços de manutenção corretiva**

HHCorretiva = (Total de Homens-Hora trabalhados em urgência durante 1 ano / Total de HH programados durante 1 ano)

**Valor referencial:** \_\_\_\_\_

( ) **Custo de Materiais**

CM = (Custo total de materiais aplicados pela Manutenção durante 1 ano/ Custo total da manutenção durante 1 ano) x 100%

**Valor referencial:** \_\_\_\_\_

( ) **Custo de Mão de Obra**

MO = (custo da mão de obra em 1 ano/ custo total da manutenção em 1 ano) x 100%

**Valor referencial:** \_\_\_\_\_

( ) **Falta de Materiais que afetam os serviços da Manutenção**

FM= Total de ordens de serviço paralisadas por falta de material em 1 ano/ Total de ordens de serviço emitidas em 1 ano)

**Valor referencial:** \_\_\_\_\_

( ) **Taxa de desligamento forçado**

TDF= (Nº de desligamentos forçados no período de 1 ano/ Nº total de horas de operação no período de 1 ano)

	MC	PC
Valores referenciais		

MC- Muito Crítico; PC-Pouco Crítico

( ) **Outros:** \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

3.7. Com que frequência é realizada consultoria no setor da manutenção?

- Sempre
- Quase sempre
- Algumas vezes, depende da situação do setor.
- Raramente
- Nunca

3.8. Indique o valor de Homens.hora apropriados em serviços de manutenção corretiva e preventiva em relação ao total dos Homens.hora trabalhados (em %). Obs: As somas dos valores devem complementar 100% aproximadamente

<b>Manutenção Corretiva</b>	<b>Manutenção Preventiva</b>
a. Abaixo de 40%	a. Acima de 90%
b. Entre 40% a 60%	b. Entre 75% a 90%
c. Entre 60% a 75%	c. Entre 60% a 75%
d. Entre 75% a 90%	d. Entre 40% a 60%
e. Acima de 90%	e. Abaixo de 40%

**Pergunta aberta:** Comente sobre como a sua empresa busca garantir/controlar e melhorar a qualidade dos serviços de manutenção prestados e o que é, na sua percepção, um diferencial (ex: gerência participativa, comunicação, gerenciamento de processos e/ou da rotina, capacitação, trabalho em equipe, etc.).

---



---



---



---

#### **4. RELATÓRIOS GERENCIAIS**

4.1. Considere os seguintes relatórios de Manutenção Corretiva gerados por equipamentos importantes e verifique quais são disponíveis na sua manutenção:

OBS: Para cada relatório abaixo utilizado na sua empresa, informar quais valores referenciais são almejados.

1 – Tempo de indisponibilidade em número de horas por equipamento (Semanal ou Mensal)

Valor referencial: \_\_\_\_\_

2 – Perdas de produção em R\$ por tempo de indisponibilidade (Semanal ou Mensal)

Valor referencial: \_\_\_\_\_

3 – Custos de manutenção corretiva por equipamento (Semanal ou Mensal)

Valor referencial: \_\_\_\_\_

4 - Número de horas aplicadas em Manutenção corretiva por equipamento (Semanal ou Mensal)

Valor referencial: \_\_\_\_\_

- a. Todos os quatro relatórios acima são disponíveis;
- b. Três dos relatórios acima são disponíveis;
- c. Dois dos relatórios acima são disponíveis;
- d. Um dos relatórios acima são disponíveis;
- e. Não existem relatórios com esses conteúdos.

### **5. AUTOMAÇÃO DA MANUTENÇÃO**

5.1. Quais são as principais aplicações do software de gerenciamento da manutenção? Marque apenas os que se aplicam.

- Planejamento, programação e acompanhamento de serviços
- Gerenciamento de tarefas de manutenção preventiva/preditiva
- Gerenciamento de paradas
- Análise de falhas
- Controle de custos
- Gestão de estoque/materiais

Outros: \_\_\_\_\_

5.2. Que tipo de pessoal de manutenção utiliza o software para realização de suas funções de trabalho?

- Gerencia
- Supervisão
- Chefes de setor
- Operários
- O software corporativo da empresa não tem aplicações na manutenção

5.3. Qual seu grau de satisfação com o software que gerencia a manutenção na sua empresa?

- a. Muito satisfeito
- b. Satisfeito
- c. Indiferente

- d. Insatisfeito
- e. O software corporativo da empresa não tem aplicações na manutenção

## **6. MANUTENÇÃO PREVENTIVA/PREDITIVA**

6.1. Os equipamentos têm cadernos onde sejam estabelecidas as rotinas de Manutenção Preventiva, tais como: informações de segurança, instruções detalhadas das tarefas/ inspeções, requisitos de materiais e etc.?

- a. Sim, todos os equipamentos possuem cadernos que definem todos os procedimentos necessários a serem realizados na manutenção, e são sempre utilizados.
- b. Sim, todos equipamentos possuem cadernos que definem bem as rotinas de manutenção, mas nem sempre são utilizados.
- c. Apenas algumas categorias de equipamentos possuem cadernos de rotinas de manutenção, mas tais cadernos são sempre utilizados.
- d. Sim, mas apenas algumas categorias de equipamentos e tais cadernos são raramente utilizados.
- e. Não, não existem rotinas de manutenção descritas em cadernos próprios. As ações de Manutenção são realizadas segundo experiência dos colaboradores e/ou gestores.

6.2. Quais são as técnicas de detecção utilizadas no programa de manutenção preditiva da empresa? Assinale a(s) alternativa(s) correspondente(s)

( ) Análise de Vibração

( ) Análise de Óleos lubrificantes

( ) Ultrassonografia

( ) Análise de Óleos isolantes

( ) Análises termográficas

( ) Inspeção Visual

( ) Outros: \_\_\_\_\_

( ) Outros: \_\_\_\_\_

## 7. *ORDENS DE SERVIÇO*

7.1. Que porcentagem das ordens de serviço é gerada por serviços de manutenção corretiva?

- a. Menos que 20%
- b. Entre 20% e 40%
- c. Entre 40% e 60%
- d. Entre 60% e 80%
- e. Entre 80% e 100%

## 8. *ANÁLISE DE FALHAS*

8.1. A empresa está preocupada em diagnosticar a causa das principais falhas e possui ferramentas para análise de falhas, bem como mantém um histórico das causas das falhas?

- a. Sim, é mantido registro das falhas e todas as falhas são diagnosticadas, buscando-se sempre a melhor solução para elas através de ferramentas de análise de falhas.
- b. Sim, é mantido registro das falhas e geralmente busca-se diagnosticar-las através de ferramentas de análise, mas algumas vezes não se consegue diagnosticar com precisão a causa raiz da falha e/ou ela é simplesmente ignorada.
- c. Sim, as falhas são sempre diagnosticadas e solucionadas através de ferramentas, mas não há registro nem histórico de tais falhas.
- d. Não, o diagnóstico e análise de falhas é realizado aleatoriamente, mas todas as falhas são registradas.
- e. Não, não há diagnóstico nem registro.

8.2. Após a ocorrência de falhas, as ações de correção e as soluções executadas são registradas?

- a. Sim, as soluções/ações de correção executadas para todos os equipamentos são registradas e esses registros são sempre analisados para verificação das ações (se foram realizadas corretamente, por exemplo, ou para possíveis melhorias).
- b. Os registros das soluções só são realizados para equipamentos/instalações mais críticos, mas são sempre analisados.
- c. Há registros a respeito das ações corretivas para todos equipamentos, mas não são verificados posteriormente.
- d. Só existem registros para alguns equipamentos e ainda assim, esses registros são raramente verificados.
- e. Não há registros sobre as ações de correção

8.3. A empresa avalia e monitora eficazmente os riscos das falhas, de maneira a permitir o melhor planejamento das intervenções e controle dos equipamentos?

- Sim, em todos os equipamentos.
- Sim, em todas os equipamentos, mas não é eficaz no sentido de ajudar no planejamento das intervenções.
- Sim, mas apenas em equipamentos e/ou setores críticos.
- Sim, mas apenas em equipamentos críticos e só quando os riscos envolvem aspectos regulatórios de segurança e meio ambiente.
- Não.

8.4. Qual a porcentagem dos equipamentos que tem suas falhas identificadas e registradas?

- Entre 80% e 100%
- Entre 60% e 80%
- Entre 40% e 60%
- Abaixo de 40%
- As falhas dos equipamentos não são registradas

8.5. No que diz respeito a classificação de uma falha em Leve, Moderada e Grave, qual a porcentagem de ocorrência de falhas/ano em cada uma dessas categorias?

<b>Falhas Leves</b>	<b>Falhas Moderadas</b>	<b>Falhas Graves</b>
a) Menos de 40%	a) Menos de 40%	a) Menos de 40%
b) Entre 40% e 60%	b) Entre 40% e 60%	b) Entre 40% e 60%
c) Entre 60% e 75%	c) Entre 60% e 75%	c) Entre 60% e 75%
d) Entre 75% e 90%	d) Entre 75% e 90%	d) Entre 75% e 90%
e) Acima de 90%	e) Acima de 90%	e) Acima de 90%

Qual seu critério de tempo de indisponibilidade e tipo de equipamento/sistema para considerar uma falha Leve, Moderada ou Grave?

<b>Tempo de Indisponibilidade</b>	<b>Tipo de Equip./Sistema</b>	<b>Falha Leve</b>	<b>Falha Moderada</b>	<b>Falha Grave</b>
	Muito Crítico			
	Pouco Crítico			

8.6. Os impactos de uma interrupção no funcionamento de suas máquinas são mensurados em tempo de operação perdido, em R\$ e/ou unidades não produzidas, ou em pedidos atrasados e/ou não entregues por exemplo?

- a. Sim, sempre todas as interrupções são registradas e mensuradas de acordo com algum dos parâmetros mencionados acima.
- b. Na maioria das vezes as interrupções são registradas e avaliadas de acordo com algum dos parâmetros mencionados acima.
- c. As interrupções são registradas, mas não são mensuradas.
- d. As interrupções são raramente registradas.
- e. Não, as interrupções nunca são registradas e nem mensuradas.

8.7. O que é feito com os dados de reparo de equipamentos?

- a. Os dados de reparo de todos equipamentos de responsabilidade da manutenção são tratados e analisados para estudos de manutenibilidade, cálculos de indicadores ou de estatística.
- b. Apenas os dados de reparo de alguns equipamentos mais importantes são tratados e analisados para estudos de manutenibilidade, cálculos de indicadores ou de estatística.
- c. Os dados de reparo de todos equipamentos são coletados, mas não são feitos quaisquer estudos de manutenibilidade e/ou estatística sobre esses dados.
- d. Os dados de reparo de apenas alguns equipamentos são coletados, mas não são feitos quaisquer estudos de manutenibilidade e/ou estatística sobre esses dados.
- e. Não são coletados.

## ***9. COMPRAS E ESTOQUE DE MANUTENÇÃO***

9.1. Como você avalia a gestão de sobressalentes para o atendimento da produção?

- a. Totalmente adequada
- b. Adequada
- c. Pode melhorar
- d. Totalmente inadequada
- e. Não existe gestão de sobressalentes

9.2. Como é feito o dimensionamento dos sobressalentes?

- a. Utilizando uma abordagem baseada no risco de quebra de estoque com uso do conhecimento prévio de especialista.
- b. Utilizando uma abordagem baseada no risco de quebra de estoque sem uso do conhecimento prévio de especialista.

- c. O número de sobressalentes de um dado modelo de equipamento é um percentual do total de equipamentos desse modelo.
- d. Apenas pela experiência gerencial.
- e. Não é feito dimensionamento de sobressalentes.

9.3. Qual o valor do estoque de manutenção sobre o custo total de manutenção?

- a. 0 a 5%
- b. 5% a 10%
- c. 10% a 15%
- d. 15% a 20%
- e. 20% a 30%

9.4. Qual a média de tempo de rotatividade de estoque (exceto material estratégico)?

OBS: Considerar como material estratégico: equipamentos ou sobressalentes de alto valor agregado indispensáveis para continuidade operacional.

- a. Menos que 1 mês
- b. 1 a 3 meses
- c. 3 a 6 meses
- d. 6 a 12 meses
- e. Mais que 12 meses

## ***10. TREINAMENTOS***

10.1. Os funcionários do setor da manutenção são bem treinados e/ou capacitados para exercer sua função, tendo pleno domínio dos procedimentos da área e tendo autonomia para implantar melhorias?

- a. Sim, os funcionários são capacitados para a função e também recebem treinamento. Respeitam os procedimentos através de um controle rígido e recebem incentivos para implantar melhorias.
- b. Sim, os funcionários recebem treinamento, respeitam os procedimentos. Mas nem todos funcionários têm autonomia para implantar melhorias.
- c. Sim, os funcionários recebem treinamento, alguns tem autonomia e são devidamente capacitados para implementarem melhorias, mas não há controle sobre o uso correto dos procedimentos realizados.

- d. Não, faltam supervisores e os serviços são realizados fora dos procedimentos, apesar de estes existirem. Os treinamentos não são efetivos.
- e. Não, treinamentos ineficazes e contratação de mão-de-obra pouco capacitada. Os serviços são realizados abaixo da expectativa.

10.2. Qual a porcentagem de funcionários do setor da manutenção que recebem treinamento?

- a. Entre 80 e 100%
- b. Entre 60 e 80%
- c. Entre 40 e 60%
- d. Entre 20 e 40%
- e. Entre 0 e 20%

10.3. Quais colaboradores recebem treinamentos no setor da manutenção da empresa?

- Gerencia
- Supervisão
- Chefes de setor
- Operários
- Não existem treinamentos

## ***11 TERCEIRIZAÇÃO***

11.1. Aponte quais critérios são adotados para escolha de empresas terceirizadas para realização de manutenção.

- Qualidade
- Tecnologia
- Prazo
- Preço
- Experiencia com a empresa prestadora
- Tempo médio de reparo
- Credibilidade da empresa
- Outros: \_\_\_\_\_

11.2. Na sua avaliação, os serviços terceirizados implantados, caracterizam-se como:

- a. Excelentes
- b. Satisfatórios, atendendo às expectativas
- c. Parcialmente satisfatórios
- d. Insatisfatórios
- e. Péssimos

11.3. A programação da realização de serviços terceirizados é realizada no setor da manutenção através de:

- a. Planejamento estratégico para todos os serviços contratados, avaliando sempre índices como redução dos gastos totais com a manutenção, quantidade de intervenções, rapidez no atendimento, tempo médio de reparo.
- b. Planejamento estratégico apenas para alguns serviços mais importantes, avaliando os índices mencionados no item anterior.
- c. É realizado um planejamento da programação de contratações de serviços terceirizados, mas não é realizada nenhuma avaliação de quaisquer índices.
- d. Dinamicamente de acordo com as necessidades, utilizando apenas a experiência gerencial.
- e. Apenas em caráter emergencial.

11.4. Que tipo de contrato é feito com a (s) empresa (s) terceirizadas (s)? Caso haja mais de um tipo, indique o mais frequente.

- a. O contrato com o fornecedor prevê remuneração baseada em desempenho, ou seja, de acordo com os resultados obtidos ocorre uma determinada remuneração.
- b. Através de um valor fixo por período de tempo em conjunto com indicadores como um associado a disponibilidade, por exemplo.
- c. Através de um valor fixo pelo número de atividades realizadas.
- d. Através de um valor fixo por período de tempo.
- e. Através do número de mão de obra contratada.

11.5. Existe uma avaliação periódica dos indicadores de desempenho dos serviços terceirizados?

- a. Sempre, em todos serviços terceirizados.
- b. Na maioria das vezes.

- c. Algumas vezes, depende do grau de importância do serviço terceirizado.
- d. Poucas vezes.
- e. Nunca.

## **12. CUSTOS**

12.1. A empresa faz previsão orçamentária para a manutenção? Qual grau de atendimento dessa previsão com a demanda exigida pela manutenção?

- a. Sim e atende totalmente.
- b. Sim, e atende na grande maioria das vezes.
- c. Sim, mas essa previsão raramente atende o setor da manutenção.
- d. Apesar de existir previsão orçamentaria, nunca atende ao setor.
- e. Não existe previsão orçamentária para o setor da manutenção

12.2. Qual a relação entre o custo total da manutenção e o faturamento bruto anual?

- a. 1 a 3%
- b.  $3 < \% \leq 5\%$
- c.  $5 < \% \leq 7\%$
- d.  $7 < \% \leq 9\%$
- e. Acima de 9%

12.3. Como é feita a previsão orçamentária da manutenção?

- a. Através de um planejamento orçamentário feito a cada período.
- b. Através do histórico do orçamento do período anterior.
- c. Por meio de uma porcentagem em relação ao patrimônio (valor estimado dos ativos) ou em relação ao faturamento bruto.
- d. Arbitrariamente através da fixação de uma quota para a manutenção.
- e. Não existe previsão orçamentária para o setor da manutenção.

12.4. Existe alguma ferramenta de gestão dos custos da manutenção?

- a. Sim, existe um bom sistema informatizado e corporativo que viabiliza a gestão efetiva dos custos dos serviços da manutenção e proporciona periodicamente aos gerentes da manutenção realocação ou redução dos custos.
- b. Existe um bom sistema informatizado de apropriação de custos na empresa, mas o mesmo não é analisado periodicamente pelos gerentes de manutenção, buscando redução dos custos sem perda da disponibilidade/confiabilidade dos equipamentos e instalações.

- c. Existe uma ferramenta que mede os custos da manutenção e é utilizada periodicamente, mas trata-se de um sistema ineficaz.
- d. Existe, mas não há uma apropriação correta dos custos da manutenção, sendo, portanto, uma ferramenta raramente utilizada pelos gerentes da manutenção.
- e. Não existe qualquer ferramenta de gestão dos custos da manutenção

12.5. O departamento de manutenção acompanha o custo do ciclo de vida das máquinas?

*“O custo do ciclo de vida de um ativo é a soma de todos os capitais despendidos no suporte desse ativo desde a sua concepção e fabricação, passando pela operação até ao fim da sua vida útil.”*

- a. Sim, o setor da manutenção está sempre acompanhando os custos do ciclo de vida de todas as máquinas, sabendo exatamente em que estágios da curva da banheira encontram-se as mesmas.
- b. Sim, o setor da manutenção sempre acompanha os custos do ciclo de vida de algumas máquinas (geralmente as mais importantes para o ciclo produtivo), sabendo exatamente em que estágios da curva da banheira encontram-se as mesmas.
- c. Sim, é feito um levantamento do custo do ciclo de vida de todas as máquinas, mas não é feito em tempos eficientes a ponto de saber quando elas saem do estágio de vida útil.
- d. O departamento não realiza constantemente a análise dos custos desde a sua concepção e fabricação. Na maioria das situações se limita apenas em alternativas que possam reduzir os custos e amenizar a quantidade de falhas.
- e. Não é realizado a análise do custo de ciclo de vida das máquinas.

12.6. Que tipo de custos são analisados pelo setor da manutenção?

(    ) Custos diretos, tais como: custos de mão de obra, custos de propriedade dos estoques, ferramentas e máquinas, consumo de materiais, custos de contratos de manutenção, etc.

(    ) Custos indiretos, tais como: custos de perda de produção, de depreciação de equipamento parado.

(    ) Custos de falhas internas e/ou externas

(    ) Custo do ciclo de vida de um equipamento.

(    ) Custos médios anuais de manutenção e/ou funcionamento de cada equipamento.

( ) Outros: \_\_\_\_\_

12.7. Como se dá a apropriação dos custos da manutenção?

- a. Custeio Baseado na Atividade, onde os custos são investigados, relacionando-se as atividades aos produtos, com base na demanda por tais atividades pelo produto durante o processo de produção ou o serviço.
- b. Custeio por absorção: aquele que faz debitar ao custo dos produtos todos os custos sejam esses custos definidos como custos diretos ou indiretos, fixos ou variáveis, de estrutura ou operacionais.
- c. Por custos fixos e variáveis.
- d. Custeio padrão. O custo-padrão indica um “custo ideal” que deverá ser perseguido, servindo de base para a administração medir e eficiência da produção e conhecer as variações de custo.
- e. Não existe nenhuma apropriação dos custos no setor da manutenção.

12.8. Que indicadores referentes aos custos da Manutenção são monitorados na empresa?

- ( ) Custo Total da Manutenção
- ( ) Custo Total de Manutenção por unid. Produzida
- ( ) Custo Total de Manutenção por unid. De produto
- ( ) Custo de paralisação da produção
- ( ) Custo das atividades de apoio
- ( ) Custo de paralisação da produção
- ( ) Custo Médio da Manutenção Preventiva
- ( ) Custo Médio da Manutenção Corretiva
- ( ) Custo Horário das atividades de manutenção
- ( ) Custo da hora em serviço dos equipamentos
- ( ) Custo Acumulado de falha
- ( ) Custo Médio Anual de Manutenção por faturamento[%]
- ( ) Outros (especificar): \_\_\_\_\_

---

---

12.9. As principais perdas de ativos para a instalação são conhecidas e registradas para análise?

- a. Sim, conhecidas e registradas.
- b. Sim, conhecidas e na maioria das vezes registradas.
- c. Raramente são conhecidas e registradas
- d. Raramente são conhecidas, mas nunca registradas
- e. Nunca são conhecidas

Uma vez conhecidas, quais são as perdas de ativos para a instalação que mais ocorrem? E quais as mais significativas?

---

---

12.10. As raízes das causas dessas perdas de ativos descritas no item anterior são conhecidas e registradas para análise??

- a. Sim, conhecidas e registradas.
- b. Sim, conhecidas e na maioria das vezes registradas.
- c. Raramente são conhecidas e registradas
- d. Raramente são conhecidas, mas nunca registradas
- e. Nunca são conhecidas

12.11. Uma vez registradas as perdas da instalação, como ela são classificadas?

( ) Perdas por Quebras que são: perdas em função de uma falha de equipamento, ou perdas em função de degeneração gradativa, tornando os produtos defeituosos

( ) Perdas por operação em vazio e pequenas paradas que são: interrupções momentâneas causadas por problemas na produção ou nos equipamentos, que normalmente exigem pronta intervenção para que a linha volte a produzir normalmente

( ) Perdas por Queda de velocidade de Produção que são provocadas por condições que levam a trabalhar numa velocidade menor, ocasionando perdas. Exemplos dessas condições: Desgaste localizado, superaquecimento, vibração excessiva

( ) Perdas por Produtos Defeituosos que são oriundas de qualquer retrabalho ou descarte de produtos defeituosos. Esta perde inclui tudo aquilo que foi feito além do programado

( ) Perdas por Queda de Rendimento que são as perdas devidas ao não-aproveitamento da capacidade nominal das máquinas, equipamentos ou sistemas. Exemplo: instabilidade operacional, falta de matéria-prima, etc.

( ) Outras: \_\_\_\_\_

Normalmente, quais são as ações utilizadas pela empresa para redução de custos?

---

---

---

---

### ***13. MANUTENÇÃO CIVIL***

13.1. Na sua avaliação, os serviços de manutenção relacionados a limpeza da área operacional/industrial, caracterizam-se como:

- a. Excelentes
- b. Satisfatórios, atendendo às expectativas
- c. Parcialmente satisfatórios
- d. Insatisfatórios
- e. Péssimos

13.2. Na sua avaliação, os serviços de manutenção de área para depósito de resíduos do processo, caracterizam-se como:

- f. Excelentes
- g. Satisfatórios, atendendo às expectativas
- h. Parcialmente satisfatórios
- i. Insatisfatórios
- j. Péssimos

13.3. Na sua avaliação, os serviços de manutenção de instalações prediais, caracterizam-se como:

- k. Excelentes

l. Satisfatórios, atendendo às expectativas

m. Parcialmente satisfatórios

n. Insatisfatórios

o. Péssimos

13.4. Na sua avaliação, os serviços de manutenção de instalações de refrigeração, ar condicionado e ventilação, caracterizam-se como:

p. Excelentes

q. Satisfatórios, atendendo às expectativas

r. Parcialmente satisfatórios

s. Insatisfatórios

t. Péssimos

## APÊNDICE B – CÓDIGOS DE IMPLEMENTAÇÃO DO *FUZZY* TOPSIS EM LINGUAGEM DE PROGRAMAÇÃO MATLAB

### 1. Função Principal

```

%número de decisores
%k=2;

%número de critérios a serem avaliados
%n=4;

%vetor de critérios: custo/beneficio
%Beneficio=1, Custo=2, comprimento=n
%critérios=[1 1 1 1];

%Número de alternativas a serem ranqueadas
%AREVA - 24
%IMBEL - 31
%MAHLE - 8

%m=24;
%m=31;
%m=8;

%%Escolha da forma de calcular a similaridade {1,2,3,4}

% 1- Método proposto por HSIEH & CHEN (1999)
% 2- Método proposto por CHEN & CHEN (2001)
% 3- Método proposto por WEI & CHEN (2009)
% 4- Método proposto por HEJAZI et al. (2011)

% Aqui escolheu o método de HEJAZI et al. (2011), por considerá-lo
mais preciso, como explicado no texto.

simi=4;

%% Definição das variáveis linguísticas para o peso de cada
%% critério (definidas como um número Fuzzy generalizado)

MeI=[0 0 0 0.25 1]; %Menos Importante
MoI=[0 0.25 0.25 0.5 1]; %Moderadamente Importante
I=[0.25 0.5 0.5 0.75 1]; % Importante
FI=[0.5 0.75 0.75 1.0 1]; % Fortemente Importante
EI=[0.75 1.0 1.0 1.0 1]; % Extremamente Importante

% Definição das Variáveis linguísticas para as avaliações de
% cada alternativa com relação a cada critério (definidas como
% um número Fuzzy generalizado)

MB=[0,0,0,2.5, 1]; % Muito Baixo
B=[0,2.5,2.5,5, 1]; % Baixo
M=[2.5,5,5,7.5, 1]; % Médio
A =[5,7.5,7.5,10, 1]; % Alto

```

```
MA=[7.5,10,10,10,1]; % Muito Alto
```

```
%% Definição dos Pesos dos Critérios pelos decisores. Como
%explicado no capítulo 7, foi considerado o peso:
%"Extremamente Importante" para todos os critérios, por ambos
%os decisores
```

```
PD1={EI EI EI EI};
```

```
PD2={EI EI EI EI};
```

```
%PD3={EI EI EI EI}; %% Para caso tenha mais decisores
```

```
%PD4={EI EI EI EI};
```

```
PD={PD1;PD2};
```

```
%PD={PD1;PD2;PD3;PD4}; %% Para caso tenha mais decisores
```

```
%% Definição das Matrizes de decisão pelos decisores.
```

```
%%%%%%%%%% AREVA %%%%%%%%%%
```

```
%MD1={B B B B; B M B M; A B M B; A B A B; B A A M; A A M B; M A M M;
A A A M; A A A B; M A A M; B A M M; M M A M; B M A M; M A A A; M A A
A; A M A M; A A M A; B A A B; A B M B; B A A A; B A A M; A A A A; B
M M B; M B A B};
```

```
%MD2={A M A A; B B B B; A A A A; A A M A; A A A A; A A A A; A A A A;
A A A A; M A A A; A A M A; A A A A; M M A A; A M A A; A A A A; A A A
M; A M A M; M A M M; M M M M; M A A A; A A A A; A A A M; A A A M; A
A A A; A A A A};
```

```
%Para caso tenha mais decisores
```

```
%MD3={ };
```

```
%MD4={ };
```

```
%%%%%%%%%% IMBEL %%%%%%%%%%
```

```
%MD1={B B B B; A M A B; A B M B; M B M B; A B M B; A B A B; A B A B;
A B A B; B A M A; B A M A; A A A M; B M M M; A A A M; A A M A; B A A
M; A A M B; M A M M; A A A B; B A A A; M M A M; B M A M; M A A A; M
A A A; A M A M; M A A M; A A M A; B A A B; A B A B; B A A M; A A A
A; B M M B};
```

```
%MD2={A M A A; A A M A; A A M A;
M M A A; M M M M; M M A A; A A A A; A A A A; A A A A; A M M M; A A A
A; A A A A; A A A A; M A A A; M M M M; M M A A; A M A A; A A A A; A
A A M; A M A M; A A A A; M A M M; M M M M; M M M B; A A A M; A A A
M; A A A A};
```

```
%Para caso tenha mais decisores
```

```
%MD3={ };
```

```
%MD4={ };
```

```
%%%%%%%%%% MAHLE %%%%%%%%%%
```

```
%MD1={A M A B; A B M B; B A M A; A A A M; B M M M; A A A M; A A M A;
B M M B};
```

```
%MD2={A A A A; A A M A; M M M M; A A A A; A A A A; A A A A; A A B M;
A A A A};
```

```
%Para caso tenha mais decisores
```

```
%MD3={ };
```

```
%MD4={ };
```

```
MD={MD1;MD2};
```

```
%MD={MD1;MD2;MD3;MD4};
```

```
% Chamada da Function Fuzzy_Topsis
```

```
[CCS,Simi_FPIS,Simi_FNIS,Ordenamento]=Fuzzy_Topsis(PD,MD,k,m,n,crite
rios,simi);
```

```
%Resultados
```

```
disp('Simi_FPIS:')
```

```
Simi_FPIS
```

```
disp('Simi_FNIS:')
```

```
Simi_FNIS
```

```
disp('Ranking')
```

```
Ordenamento
```

```
disp('CCS:')
```

```
CCS
```

## 2. Função Fuzzy\_Topsis

```
function[CCS,Simi_FPIS,Simi_FNIS,Ordenamento]=Fuzzy_Topsis(PD,MD,k,m
,n,criterios,simi);
```

```
% inputs:
```

```
% % PD: importancia dos pesos dada pelos decisores
```

```
% MD: matriz de decisão dos decisores
```

```
% k: numero de decisores
```

```
% n: numero de criterios
```

```
% criterios: se o criterio é de beneficio ou custo
```

```
% simi: qual metodo de calcular a similaridade escolhido
```

```
%
```

```
% outputs:
```

```
%
```

```
% CCS: Coeficiente de Similaridade
```

```
% Simi_FNIS: Similaridades com relação a FNIS
```

```
% Simi_FPIS: Similaridades com relação a FPIS
```

```
% Ordenamento: ranking das alternativas
```

```
%Agregação dos Pesos dos criterios dados pelos dois decisores
```

```
Pagreg=agregarP(PD,k,n);
```

```

%Agregação das matrizes de decisão dos dois decisores

for i=1:m
    MDA(i,:)=agregarMD(MD,i,k,n);
end

%Normalização da Matriz de decisão agregada (MDN)
for j=1:n
    for i=1:m
        matrizB(i,j)=MDA{i,j}(4); %obtendo dij's
        matrizC(i,j)=MDA{i,j}(1); %obtendo aij's
    end
end

divisorB=max(matrizB); %d+ para criterios de beneficio
divisorC=min(matrizC); %a- para criterios de custo

for i=1:m
    for j=1:n
        if criterios(j)==1
            MDN{i,j}(1:4)=MDA{i,j}(1:4)./divisorB(j);
        elseif criterios(j)==2
            MDN{i,j}(1:4)=divisorC(j)./MDA{i,j}(4:-1:1);
        end
    end
end

%Ponderação da Matriz de Decisão Normalizada

for i=1:m
    for j=1:n
        MDNP{i,j}(1:4)=MDN{i,j}(1:4).*Pagreg(j,:);
    end
end

%Cálculo do FPIS e FNIS para cada criterio:

for j=1:n
    for i=1:m
        maxi2(i,:)=MDNP{i,j}(1:4);
    end
    FPIS{j}(1:4)=max(maxi2);
    FNIS{j}(1:4)=min(maxi2);
end

%Cálculo das similaridade Fuzzy entre a matriz de decisão
%normalizada e ponderada e a FPIS de cada criterio:

for i=1:m
    Simi_FPIS(i,:)=Met_Simi_Fuzzy(MDNP(i,:),FPIS,n,simi);
end

%Unificação dos valores de Simi_FPIS:

```

```

Simi_FPIS_media=sum(Simi_FPIS,2)/n;
Simi_FPIS=Simi_FPIS_media';

%Cálculo das similaridade Fuzzy entre a matriz de decisão
%normalizada e ponderada e a FNIS de cada critério:

for i=1:m
    Simi_FNIS(i,:)=Met_Simi_Fuzzy(MDNP(i,:),FNIS,n,simi);
End

Simi_FNIS_media=sum(Simi_FNIS,2)/n;
Simi_FNIS=Simi_FNIS_media';

%Coeficiente de Similaridade:

for i=1:m

CCS(i)=Simi_FPIS_media(i)/(Simi_FPIS_media(i)+Simi_FNIS_media(i));
end

[X,I]=sort(CCS,'descend');

%Ordenamento das alternativas de Decisão:

Ordenamento=I';

```

### 3. Função Met\_Simi\_Fuzzy

```

%Function que permite escolher qual metodo de calcular
%similaridade Fuzzy, conforme proposto no texto

% 1- Método proposto por HSIEH & CHEN (1999)
% 2- Método proposto por CHEN & CHEN (2001)
% 3- Método proposto por WEI & CHEN (2009)
% 4- Método proposto por HEJAZI et al.(2011)

function Simi_FPIS=Met_Simi_Fuzzy(MDNP,FPIS,n,simi)

for i=1:n
    if simi==1
        Simi_FPIS(i)=fsimil3([MDNP{i}(1:4) 1],[FPIS{i}(1:4) 1]);
    elseif simi==2
        Simi_FPIS(i)=fsimil4a([MDNP{i}(1:4) 1],[FPIS{i}(1:4) 1]);
    elseif simi==3
        Simi_FPIS(i)=fsimil1([MDNP{i}(1:4) 1],[FPIS{i}(1:4) 1]);
    elseif simi==4
        Simi_FPIS(i)=fsimil2([MDNP{i}(1:4) 1],[FPIS{i}(1:4) 1]);
    end
end
end

```

#### 3.1. Função fsimil1

```

%Método proposto por WEI & CHEN (2009)

```

```
function [Simil] = fsimil1(A,B)

P_A=sqrt((A(1)-A(2))^2+A(5)^2)+sqrt((A(3)-A(4))^2+A(5)^2)+(A(3)-
A(2))+A(4)-A(1));
P_B=sqrt((B(1)-B(2))^2+B(5)^2)+sqrt((B(3)-B(4))^2+B(5)^2)+(B(3)-
B(2))+B(4)-B(1));

minmax=(min(P_A,P_B)+min(A(5),B(5)))/(max(P_A,P_B)+max(A(5),B(5)));
S1=1-sum(abs(A(1:4)-B(1:4)))/4;
Simil=S1*minmax;
```

### 3.2. Função fsimil2

```
% Método proposto por HEJAZI et al.(2011)

function [Simil2]=fsimil2(A,B)

PA=sqrt((A(1)-A(2))^2+A(5)^2)+sqrt((A(3)-A(4))^2+A(5)^2)+(A(3)-
A(2))+A(4)-A(1));
PB=sqrt((B(1)-B(2))^2+B(5)^2)+sqrt((B(3)-B(4))^2+B(5)^2)+(B(3)-
B(2))+B(4)-B(1));
aA=1/2*(A(5)*(A(3)-A(2)+A(4)-A(1)));
aB=1/2*(B(5)*(B(3)-B(2)+B(4)-B(1)));
temp=(min(PA,PB)/max(PA,PB))*(min(aA,aB)+
min(A(5),B(5)))/(max(aA,aB)+max(A(5),B(5)));

Simil2=(1-(sum(abs(A(1:4)-B(1:4))))/4)*temp;
```

### 3.3. Função fsimil3

```
% Método proposto por HSIEH & CHEN (1999)

function [Simil3]=fsimil3(A,B)

PA=(A(1)+2*A(2)+2*A(3)+A(4))/6;
PB=(B(1)+2*B(2)+2*B(3)+B(4))/6;
dAB=abs(PA-PB);
Simil3=1/(1+dAB);
```

### 3.4. Função fsimil4a

```
% Método proposto por CHEN & CHEN (2001)

function [Simil4]=fsimil4a(A,B)

if A(1)==A(4)
    Ya=A(5)/2;
else
    Ya=A(5)*((A(3)-A(2))/(A(4)-A(1))+2);
end
if B(1)==B(4)
    Yb=B(5)/2;
else
    Yb=B(5)*((B(3)-B(2))/(B(4)-B(1))+2);
```

```
end
Xa=(Ya*(A(3)+A(2))+(A(4)+A(1))*(A(5)-Ya))/2*A(5);
Xb=(Yb*(B(3)+B(2))+(B(4)+B(1))*(B(5)-Yb))/2*B(5);
Sa=A(4)-A(1);
Sb=B(4)-B(1);
if (Sa+Sb)/2==0
    sasb=0;
else
    sasb=1;
end
temp=(1-abs(Xa-Xb))^(sasb)*min(Ya,Yb)/max(Ya,Yb);
S1=1-sum(abs(A(1:4)-B(1:4)))/4;
Simil4=S1*temp;
```

## APÊNDICE C – RECOMENDAÇÃO PARA PONDERAÇÃO DE CRITÉRIOS PARA EMPRESAS DO SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO

A indicação de um dos especialistas, participante do presente trabalho, para a ponderação dos critérios, recomendados na metodologia proposta, para empresas do setor elétrico brasileiro é apresentada a seguir:

- **Custos:** ‘Extremamente Importante’;
- **Disponibilidade:** ‘Extremamente Importante’;
- **Desempenho:** ‘Importante’;
- **Qualidade:** ‘Importante’.

Conforme sua vasta experiência em gestão de manutenção de equipamentos elétricos de potência em empresa estatal, o especialista se fundamentou na LEI 8.666 (1993), que estabelece normas gerais sobre licitações e contratos administrativos pertinentes a obras e serviços públicos, para dar uma ponderação maior para o critério custos. A Lei 8.666, que faz parte da coletânea de legislação contendo as principais normas que regem o setor elétrico brasileiro e presente em CCEE (2009), tem como princípio fundamental a licitação como garantia do princípio constitucional da isonomia e seleção de propostas mais vantajosas para administração pública. E quando trata-se de julgamento de licitações na administração pública de serviços e obras do setor elétrico, custos é um critério preponderante que o decreto-lei propõe ser levado em conta “no interesse do serviço público”.

No caso do julgamento da disponibilidade, o especialista se fundamentou na resolução normativa da ANEEL N° 729 (2016), que trata das disposições relativas à qualidade do serviço público de transmissão de energia elétrica, associada à disponibilidade e capacidade operativa das instalações. O especialista levou em consideração a importância da Parcela Variável (PV), cuja definição e estabelecimento se dá nessa resolução, para as empresas do setor elétrico. Pois, a PV é uma parcela a ser deduzida da receita de uma transmissora de energia elétrica, em função da indisponibilidade do serviço público de transmissão a ser prestado.

**ANEXO A – QUESTIONÁRIO DESENVOLVIDO POR MIRSHAWKA & OLMEDO (1993) E RESPONDIDO PELAS EMPRESAS AREVA, IMBEL E MAHLE:**

**(A) - AREVA**  
**(I) – IMBEL**  
**(M) – MAHLE**

***ASPECTOS ORGANIZACIONAIS DA MANUTENÇÃO***

1) O organograma de sua manutenção pode ser considerado:

- a. Atualizado e completo;
- b. Atualizado, mas incompleto; **(M)**
- c. Completo, mas desatualizado;
- d. Desatualizado e incompleto, porém existente; **(A)**
- e. Não existe organograma. **(I)**

2) Cadernos de Encargos (*job descriptions*) estão disponíveis para:

- a. Todas as posições de manutenção, incluindo os supervisores; **(M) (I)**
- b. Todas as posições de manutenção, excluindo os supervisores;
- c. Somente para os supervisores ou mais de 50% das posições;
- d. Menos que 50% de todas as posições da manutenção; **(A)**
- e. Não existem Cadernos de Encargos.

3) Relação supervisor/funcionários diretos da manutenção:

- a. 1 para 8-12; **(A)**
- b. 1 para 13-16;
- c. 1 para menos de 8;
- d. 1 para mais de 16; **(M) (I)**
- e. Não existe supervisor.

4) Relação planejador de manutenção/funcionários diretos da manutenção:

- a. 1 para 15-20; **(M)**
- b. 1 para 10-14;
- c. 1 para 21-25;
- d. 1 para 26-30;
- e. Não existe planejador de manutenção ou qualquer relação diferente das citadas. **(A) (I)**

## 5) Mandato da gerência de manutenção:

- a. Responsabilidades plenamente documentadas – completa autonomia; **(M)**
- b. Responsabilidades claras – boa autonomia;
- c. Supervisão e coordenação informais – autonomia restrita; **(A) (I)**
- d. A manutenção reporta à produção/operação;
- e. Linhas de autoridade e jurisdição indefinidas.

## 6) Esforços e atitudes do grupo de manutenção:

- a. Excelente, orgulhosos de seu profissionalismo em todos os níveis, grupo motivado; **(M)**
- b. Executam seu trabalho de forma profissional, constante e sem comprometimento; **(A)**
- c. Trabalham na média de aceitação mas com reclamações esporádicas; **(I)**
- d. Frequentes atrasos de serviços com muitas reclamações – raramente se esforçam;
- e. Constantes atritos dentro do próprio grupo de manutenção e com outras áreas de operação.

## 7) Localização das áreas de escritórios/oficinas de manutenção:

- a. Perfeita; **(M) (I)**
- b. Boa (possível pequena melhoria);
- c. Razoável (possível grande melhoria); **(A)**
- d. Sofrível (necessária grande melhoria);
- e. Inadequado ou inexistente.

## 8) Layouts dos escritórios/oficinas de manutenção:

- a. Perfeito;
- b. Bom (possível pequena melhoria); **(M) (A) (I)**
- c. Razoável (possível grande melhoria);
- d. Sofrível (necessária grande melhoria);
- e. Inadequado ou inexistente.

## 9) Qualidade e quantidade das ferramentas e equipamentos de manutenção:

- a. Perfeita; **(M)**
- b. Boa (possível pequena melhoria);
- c. Razoável (possível grande melhoria); **(A)**
- d. Sofrível (necessária grande melhoria); **(I)**
- e. Inadequada ou inexistente

10) Qual a porcentagem do pessoal de manutenção que recebe bônus baseado no desempenho do grupo/empresa?

- a. 100%; **(M) (A)**
- b. Acima de 90%;
- c. Entre 75% e 90%;
- d. Entre 50% e 75%;
- e. Menos que 50% **(I)**

### ***PROGRAMAS DE TREINAMENTO EM MANUTENÇÃO***

1) Treinamento para supervisores:

- a. Todos são treinados de acordo com plano regular e, obrigatoriamente, se treinamento adicional for necessário;
- b. Todos são treinados. Treinamento adicional é oferecido de forma opcional; **(M) (A)**
- c. A maioria é treinada. Treinamento regular;
- d. A maioria é treinada. Treinamento não regular;
- e. Poucos são treinados ou o treinamento é inexistente. **(I)**

2) Treinamento para planejadores:

- a. Todos os planejadores/programadores atendem a um ou mais seminários externos referentes a sua especialidade;
- b. Todos os planejadores/programadores dispõem de material escrito para treinamento sobre suas atividades;
- c. Todos os planejadores/programadores recebem treinamento individual, assistidos no local de trabalho durante um mês, no mínimo; **(M)**
- d. Planejadores/programadores aprendem trabalhando, parcialmente assistidos;
- e. Não há programa de treinamento; **(A) (I)**

3) Quais dos quatro assuntos abaixo estão incluídos no conteúdo do treinamento dado aos planejadores de manutenção de sua empresa?

- 1 – Planejamento de materiais;
  - 2 – Práticas de programação;
  - 3 – Planejamento e execução – ordens de serviço;
  - 4 – Planejamento de projetos.
- a. Inclui todos os quatro assuntos acima; **(M)**
  - b. Inclui três dos assuntos acima;

- c. Inclui dois dos assuntos acima;
  - d. Inclui um dos assuntos acima;
  - e. Não existe treinamento para planejadores. **(A) (I)**
- 4) Treinamento sobre produtividade e qualidade inclui:
- a. Todos. Gerência, supervisores, horistas e pessoal de suporte; **(M) (I)**
  - b. Todos, menos pessoal de suporte;
  - c. Somente gerentes e supervisores; **(A)**
  - d. Somente gerência;
  - e. Não há programas nesta área ou existe somente para horistas.
- 5) Treinamento para especialistas em manutenção:
- a. Está associado a incrementos salariais, conforme avanço no programa existente; **(M)**
  - b. Experiência anterior é necessária antes da contratação. É dado treinamento no trabalho; **(I)**
  - c. Basta experiência anterior antes de contratar. Já inicia produzindo; **(A)**
  - d. Treina no local após ter sido contratado. Não requer experiência;
  - e. Não existe treinamento formal nem pré-requisitos na contratação.
- 6) Intervalos de treinamento na manutenção. Treinamento formal é ministrado a todos especialistas com a seguinte frequência:
- a. Menos que 12 meses; **(M) (A)**
  - b. Entre 12 e 18 meses;
  - c. Entre 18 e 24 meses;
  - d. Treinamento apenas para alguns especialistas. Qualquer frequência acima; **(I)**
  - e. Não há treinamento.
- 7) Composição do treinamento de manutenção:
- a. Treinamento é todo mesclado com teoria e prática reais; **(A) (I)**
  - b. Treinamento é todo teórico (sala-de-aula);
  - c. Treinamento é todo prático (em laboratório);
  - d. Todo treinamento é feito no serviço real; **(M)**
  - e. Não há programa de treinamento;
- 8) Instrutores do programa de treinamento:
- a. Conduzido por especialistas externos; **(A)**
  - b. Conduzido pelo especialista do “staff”;

- c. Conduzido pelos supervisores; **(M) (I)**
  - d. Conduzido pelos horistas;
  - e. Não existe programa de treinamento.
- 9) A qualidade, nível de conhecimento/habilidade do grupo de especialistas da manutenção é:
- a. Perfeito;
  - b. Bom (possível pequena melhoria); **(M)**
  - c. Razoável (possível grande melhoria); **(A) (I)**
  - d. Sofrível (necessária grande melhoria);
  - e. Inaceitável.
- 10) A qualidade, nível de conhecimento/habilidade do grupo de supervisores é:
- a. Perfeito;
  - b. Bom (possível pequena melhoria); **(A) (I)**
  - c. Razoável (possível grande melhoria); **(M)**
  - d. Sofrível (necessária grande melhoria);
  - e. Inaceitável.

### ***ORDENS DE SERVIÇO DA MANUTENÇÃO***

- 1) Que percentagem aproximada dos homens.hora de manutenção é alocada em ordens de serviço?
- a. 100%; **(M) (A)**
  - b. 75%; **(I)**
  - c. 50%;
  - d. 25%;
  - e. Menos que 25%.
- 2) Que percentagem aproximada de materiais de manutenção é alocada em ordens de serviço?
- a. 100%; **(A) (I)**
  - b. 75%;
  - c. 50%; **(M)**
  - d. 25%;
  - e. Menos que 25%.
- 3) Que percentagem dos serviços de manutenção é coberta por ordens de serviço?
- a. 100%; **(M) (I)**

- b. 75%;(A)
  - c. 50%;
  - d. 25%;
  - e. Menos que 25%.
- 4) Que percentagem de ordens de serviço, incompletas ou de *backlog* é mantida arquivada por número/código do equipamento?
- a. 100%;(M) (I)
  - b. 75%;(A)
  - c. 50%;
  - d. 25%;
  - e. Menos que 25%.
- 5) Que percentagem de ordens de serviço é arquivada por número/código do equipamento após concluídas as intervenções?
- a. 100%;(M) (A) (I)
  - b. 75%;
  - c. 50%;
  - d. 25%;
  - e. Menos que 25%.
- 6) Que percentagem das ordens de serviço está disponível para análise dos dados históricos dos equipamentos?
- a. 100%;(M) (A) (I)
  - b. 75%;
  - c. 50%;
  - d. 25%;
  - e. Menos que 25%.
- 7) Que percentagem das ordens de serviço é conferida pelo supervisor nos aspectos de qualidade e efetiva a conclusão do serviço?
- a. 100%;
  - b. 75%;(A)
  - c. 50%;
  - d. 25%;(M)
  - e. Menos que 25%.(I)

8) Que porcentagem das ordens de serviço é encerrada dentro de oito semanas a contar da requisição dos serviços?

- a. 100%;
- b. 75%;(M) (A) (I)
- c. 50%;
- d. 25%;
- e. Menos que 25%.

9) Que porcentagem das ordens de serviço é gerada por serviços de manutenção preventiva?

- a. Entre 80% e 100%;
- b. Entre 60% e 80%;(A)
- c. Entre 40% e 60%;(M)
- d. Entre 20% e 40%;
- e. Menos que 20%.(I)

10) Considere as quatro informações abaixo e assinale quais as que estão contidas na ordem de serviço de sua manutenção?

1 – Tempo de desligamento;

2 – Homens.hora de especialistas necessários;

3 – Materiais necessários;

4 – Nome do requisitante/local.

- a. A ordem de serviço contém as quatro informações acima; (M) (I)
- b. Contém três das informações acima;
- c. Contém duas das informações acima; (A)
- d. Contém uma das informações acima;
- e. Não registra essas informações.

### ***PLANEJAMENTO E PROGRAMAÇÃO DA MANUTENÇÃO***

1) Que porcentagem de ordens de serviço, não em emergência, é executada dentro de quatro semanas a contar da solicitação dos serviços?

- a. Acima de 90%;(M)
- b. Entre 75% e 90%;
- c. Entre 60% e 75%;(A) (I)

- d. Entre 40% e 60%;
  - e. Menos que 40%.
- 2) Considere o planejamento de uma ordem de serviço de sua manutenção e identifique quantos dos pontos abaixo ela inclui:
- 1 – Especialistas necessários;
  - 2 – Materiais a serem utilizados;
  - 3 – Ferramentas/equipamentos necessários;
  - 4 – Instruções específicas/plano de trabalho.
    - a. Inclui todos os quatros itens acima mencionados; **(M)**
    - b. Inclui três dos itens acima mencionados; **(A)**
    - c. Inclui dois dos itens acima mencionados;
    - d. Inclui um dos itens acima mencionados; **(I)**
    - e. Não há planejamento.
- 3) Qual a porcentagem de ordens de serviço planejadas que sofreram atrasos devido à deficiências no planejamento?
- a. Menos que 10%;**(M) (I)**
  - b. Entre 10% e 20%;**(A)**
  - c. Entre 20% e 40%;
  - d. Entre 40% e 50%;
  - e. Mais que 50%.
- 4) Quem é o responsável pelo planejamento das ordens de serviço?
- a. Um planejador de manutenção 100% dedicado a este trabalho; **(M) (I)**
  - b. Um supervisor de manutenção; **(A)**
  - c. O gerente de manutenção;
  - d. Cada especialista de manutenção;
  - e. Não há planejamento.
- 5) A programação dos trabalhos é emitida com a frequência:
- a. Semanal; **(M) (A) (I)**
  - b. Cada duas semanas;
  - c. Entre 3 e 7 dias
  - d. Diariamente;

- e. Qualquer outra frequência.
- 6) Reuniões de manutenção com o pessoal de produção são realizadas:
- a. Semanalmente
  - b. Cada duas semanas; **(A)**
  - c. Entre 3 e 7 dias
  - d. Diariamente; **(M)**
  - e. Qualquer outra frequência. **(I)**
- 7) O backlog de serviços de manutenção é possível de ser listado pelas categorias abaixo? Por quantas categorias é possível listar na sua empresa?
- 1 – Por especialista;
  - 2 – Por área/departamento;
  - 3 – Por requisitante;
  - 4 – Por data a executar.
- a. Disponível nas quatro categorias; **(M)**
  - b. Disponível em três categorias; **(A) (I)**
  - c. Disponível em duas categorias;
  - d. Disponível em uma categoria;
  - e. Não controla backlog.
- 8) Quando o trabalho de manutenção é concluído, o tempo real gasto, o material, o tempo de desligamento e outras informações são anotados pelo:
- a. Especialista que fez o serviço; **(M) (A) (I)**
  - b. Supervisor do grupo;
  - c. Qualquer um do grupo de trabalho;
  - d. Planejador
  - e. Informações não registradas.
- 9) Qual a porcentagem de acerto do planejamento comparando tempos reais com estimados?
- a. Acima de 90%;
  - b. Entre 75% e 90%;**(A)**
  - c. Entre 60% e 75%;
  - d. Entre 40 e 60%;
  - e. Menos que 40%.**(M) (I)**

10) Qual a relação de chefia entre os planejadores e supervisores de manutenção?

- a. Ambos se reportam ao mesmo gerente de manutenção; **(A) (I)**
- b. O planejador reporta ao supervisor; **(M)**
- c. O supervisor reporta ao planejador;
- d. O supervisor reporta à manutenção, o planejador à produção;
- e. Ambos se reportam à produção.

### **MANUTENÇÃO PREVENTIVA**

1) Um programa de manutenção preventiva inclui pontos, como:

- 1 – Checklist detalhado para equipamentos importantes;
- 2 – Lista de lubrificação dos equipamentos;
- 3 – Pessoal dedicado 100% a programas de manutenção preventiva;
- 4 – Programas dedicados de manutenção preventiva; análise de vibrações; análise de óleo; termovisão etc.

- a. Todos os quatro itens acima estão no programa de manutenção preventiva; **(M)**
- b. A manutenção preventiva inclui três dos itens acima;
- c. A manutenção preventiva inclui dois dos itens acima; **(A) (I)**
- d. A manutenção preventiva inclui um dos itens acima;
- e. Não há programa de manutenção preventiva;

2) Que porcentagem das tarefas de programa de manutenção preventiva é efetivamente realizada?

- a. Acima de 90%;**(I)**
- b. Entre 75% e 90%;**(M) (A)**
- c. Entre 60% e 75%;
- d. Entre 40% e 60%;
- e. Menos que 40%.

3) Que porcentagem dos equipamentos críticos da planta está coberta pelo programa de manutenção preventiva;

- a. Acima de 90%;**(M)**
- b. Entre 75% e 90%;
- c. Entre 60% e 75%;**(A) (I)**

- d. Entre 40% e 60%;
  - e. Menos que 40%.
- 4) Que porcentagem dos programas de manutenção preventiva é avaliada anualmente contra dados históricos reais conseguidos para assegurar sua eficácia?
- a. Acima de 90%;
  - b. Entre 75% e 90%;
  - c. Entre 60% e 75%;(A)
  - d. Entre 40% e 60%;
  - e. Menos que 40%.(M) (I)
- 5) Que porcentagem das manutenções preventivas é concluída dentro de até uma semana da data para a qual foi programada?
- a. Acima de 90%;(I)
  - b. Entre 75% e 90%;(M)
  - c. Entre 60% e 75%;(A)
  - d. Entre 40% e 60%;
  - e. Menos que 40%.
- 6) O que determina a frequência de inspeção de manutenção preventiva ou intervalos de serviços?
- a. Programa baseado na condição do equipamento;
  - b. Programa baseado numa combinação de tempo de funcionamento do equipamento e intervalos de calendários pré-fixados; (A)
  - c. Programa baseado somente no tempo de funcionamento do equipamento; (M)
  - d. Programa baseado somente em intervalos de calendário; (I)
  - e. Programa dinâmico, baseado na última inspeção/serviço executado.
- 7) Que porcentagem das inspeções/tarefas de manutenção possui mais que cinco linhas escritas de detalhes ou instruções?
- a. Acima de 90%;(M)
  - b. Entre 75% e 90%;
  - c. Entre 60% e 75%;(A)
  - d. Entre 40% e 60%;
  - e. Menos que 40%.(I)

8) O tempo médio para concluir uma inspeção completa de manutenção preventiva em um equipamento importante é:

- a. 4 horas; (A)
- b. 4 a 8 horas; (I)
- c. 2 a 4 horas;
- d. Menos que 2 horas; (M)
- e. Qualquer outro tempo.

9) Que porcentagem do programa de manutenção preventiva é checada anualmente, comparando resultados reais com as estimativas de tempo e material?

- a. Acima de 90%;(M)
- b. Entre 75% e 90%;
- c. Entre 60% e 75%;
- d. Entre 40% e 60%;(A)
- e. Menos que 40%.(I)

10) Quem é responsável pela execução das tarefas de manutenção preventiva?

- a. Pessoal dedicado 100% à manutenção preventiva;
- b. Pessoas específicas em cada grupo de trabalho; (M) (I)
- c. Qualquer pessoa do grupo de manutenção; (A)
- d. Os especialistas mais novos;
- e. Pessoal de operação.

### ***COMPRAS E ESTOQUES DE MANUTENÇÃO***

1) Que porcentagem de vezes que o material requisitado é encontrado no estoque da manutenção?

- a. Acima de 95%;(M)
- b. Entre 80% e 95%;
- c. Entre 70% e 80%;
- d. Entre 50% e 70%;(A)
- e. Menos que 50%.(I)

2) Que porcentagem dos itens em estoque dispõe de uma lista atualizada na manutenção?

- a. Acima de 90%;(M)
- b. Entre 75% e 90%;

- c. Entre 60% e 75%;
  - d. Entre 40% e 60%;
  - e. Menos que 40%.**(A) (I)**
- 3) Quem controla o que é estocado como estoque da manutenção?
- a. A gerência de manutenção ouvindo seus subordinados;
  - b. Os supervisores de manutenção; **(A) (I)**
  - c. Os planejadores de manutenção; **(M)**
  - d. Manutenção conjuntamente com a produção;
  - e. Outros.
- 4) A lista de materiais de manutenção em estoque é produzida:
- a. Por computador on line com diversas opções de listagem; **(M) (I)**
  - b. Por ordem alfabética e códigos do item – listagem diária;
  - c. Por ordem alfabética – listagem periódica;
  - d. Por código do item – listagem periódica;
  - e. Não existe listagem impressa. **(A)**
- 5) A localização cartesiana (corredor – prateleira) é disponível para quais porcentagens de materiais em estoque?
- a. Acima de 95%;**(M)**
  - b. Entre 90% e 95%;
  - c. Entre 80% e 90%;
  - d. Entre 70% e 80%;
  - e. Menos que 70%.**(A) (I)**
- 6) Que porcentagem dos itens m estoque é retirada e debitada diretamente nas ordens de serviço específicas?
- a. Acima de 95%;**(M) (A) (I)**
  - b. Entre 90% e 95%;
  - c. Entre 80% e 90%;
  - d. Entre 70% e 80%;
  - e. Menos que 70%.
- 7) Qual a porcentagem de itens de estoque da manutenção é administrada através de níveis máximos e mínimos?
- a. Acima de 95%;**(M) (I)**

- b. Entre 90% e 95%;
  - c. Entre 80% e 90%;
  - d. Entre 70% e 80%;
  - e. Menos que 70%.(A)
- 8) A lista para repor estoque é enviada para o departamento de compras:
- a. Diariamente; (M) (A)
  - b. Cada 1 a 3 dias;
  - c. Semanalmente;
  - d. Quinzenalmente;
  - e. Outra frequência. (I)
- 9) O recebimento de novos materiais no estoque requer uma atualização diária. A que porcentagem destes recebimentos é feita a atualização imediata?
- a. Acima de 95%;(M) (A) (I)
  - b. Entre 90% e 95%;
  - c. Entre 80% e 90%;
  - d. Entre 70% e 80%;
  - e. Menos que 70%.
- 10) Que porcentagem dos itens de estoque é checada para verificar retiradas nos últimos seis meses?
- a. Acima de 90%;(M) (I)
  - b. Entre 80% e 90%;
  - c. Entre 70% e 80%;
  - d. Entre 50% e 70%;
  - e. Menos que 50%.(A)

### ***RELATÓRIOS GERENCIAIS DE MANUTENÇÃO***

- 1) Que porcentagem de vezes os relatórios gerenciais de manutenção chegam ao destinatário dentro de um dia da emissão?
- a. Acima de 90%; (M)
  - b. Entre 75% e 90%;
  - c. Entre 60% e 75%;
  - d. Entre 40% e 60%;
  - e. Menos que 40%.(A) (I)

2) Do número de relatórios emitidos pela manutenção. Qual a porcentagem que você avalia como úteis, realmente atingindo as pessoas certas?

- b. Acima de 90%;(M)
- c. Entre 75% e 90%;
- d. Entre 60% e 75%;
- e. Entre 40% e 60%;
- f. Menos que 40%.(A) (I)

3) Considere os seguintes relatórios gerados por equipamentos importantes e verifique quais são disponíveis na sua manutenção:

1 – Indisponibilidade em número de horas por equipamento, preferencialmente da maior quantidade para a menor (semanal ou mensal);

2 – Perdas de produção em R\$ por indisponibilidade, listando em ordem decrescente os equipamentos responsáveis (semanal ou mensal);

3 – Custos de manutenção incorridos, preferencialmente por equipamento (semanal ou mensal) também em ordem decrescente;

4 - Número de horas aplicadas em Manutenção Preditiva (semanal ou mensal).

- a. Todos os quatro relatórios acima são disponíveis;
- b. Três dos relatórios acima são disponíveis;
- c. Dois dos relatórios acima são disponíveis; (M)
- d. Um dos relatórios acima são disponíveis;
- e. Não existem relatórios com esses conteúdos. (A) (I)

4) Considere os relatórios de manutenção preventiva abaixo e indique quantos são disponíveis em sua manutenção?

1 – Lista de manutenções preventivas vencidas na data mais antiga para a mais recente;

2 – Custos em R\$ de manutenção preventiva por equipamento em ordem decrescente;

3 – Índice de horas de manutenção preventiva, comparado com as horas totais de manutenção (em %);

4 – Índice do custo de manutenção preventiva, comparado com os custos totais de manutenção (em %).

- a. São disponíveis todos os quatro relatórios acima ou equivalentes; **(M)**
  - b. São disponíveis três dos relatórios acima;
  - c. São disponíveis dois dos relatórios acima;
  - d. É disponível um dos relatórios acima; **(A) (I)**
  - e. Não existem relatórios.
- 5) Observe os relatórios de pessoal de manutenção mostrados abaixo e indique quantos são disponíveis na sua manutenção:
- 1 – Horas trabalhadas por empregado em cada serviço/área/departamento;
  - 2 – Horas empregadas em manutenção de emergência, corretiva e preventiva;
  - 3 – Porcentagem de horas extras sobre as horas normais de manutenção;
  - 4 – Porcentagem de funcionários de manutenção sobre o total de funcionários da empresa.
- a. São disponíveis todos os quatro relatórios acima ou equivalentes; **(M) (A)**
  - b. São disponíveis três dos relatórios acima;
  - c. São disponíveis dois dos relatórios acima; **(I)**
  - d. É disponível um dos relatórios acima;
  - e. Não existem relatórios.
- 6) Relatórios de planejamento – Considere os quatro tipos de relatórios a seguir e assinale quantos são emitidos pela sua manutenção:
- 1 – Custos estimados versus custos reais ocorridos por ordem de serviço;
  - 2 – Relatório de backlog – total de horas já identificadas versus a capacidade de horas disponível (por semana);
  - 3 – Relatório de eficiência de planejamento, por planejador, mostrando todos os planejamentos concluídos com desvios superiores a 20% para cima ou para baixo;
  - 4 – Porcentagem de serviços concluídos até a data para a qual foram programados.
- a. Emitidos todos os quatro relatórios acima ou equivalentes;
  - b. Emitidos três dos relatórios acima;
  - c. Emitidos dois dos relatórios acima; **(M)**
  - d. Emitido um dos relatórios acima; **(A)**
  - e. Não existem relatórios. **(I)**

7) Relatórios de programação – Considere os quatro tipos de relatórios de programação abaixo e assinale quantos são emitidos pela sua manutenção:

1 – Porcentagem de horas programadas referidas ao total de horas reais utilizadas na manutenção;

2 – Capacidade em horas de trabalho da equipe de manutenção nos últimos quatro meses;

3 – Número de ordens de serviços planejadas comparadas com o número de ordens concluídas (periodicidade quinzenal);

4 – Número de horas programadas para manutenção preventiva e manutenção não planejada (corretiva e de emergência).

- a. Emitidos todos os quatro relatórios acima ou equivalentes; **(A)**
- b. Emitidos três dos relatórios acima; **(M)**
- c. Emitidos dois dos relatórios acima;
- d. Emitido um dos relatórios acima; **(I)**
- e. Não existem relatórios.

8) Relatórios de estoque – Analise os quatro tipos de relatórios abaixo e assinale quantos são gerados por sua manutenção:

1 – Lista de valorização do estoque total;

2 – Lista para consulta por ordem alfabética ou produto;

3 – Lista de itens de estoque com datas de entrada, tempo de estoque e movimentação;

4 – Lista onde são usadas as peças – uso geral ou para equipamentos específicos.

- a. Gerados todos os quatro relatórios acima ou equivalentes; **(M)**
- b. Gerados três dos relatórios acima;
- c. Gerados dois dos relatórios acima;
- d. Gerado um dos relatórios acima;
- e. Não existem relatórios de estoque. **(A) (I)**

9) Relatórios de compra – Considere os quatro tipos de relatórios abaixo e assinale quantos são disponíveis na sua manutenção:

1 – Desempenho de fornecedores com índice de pontualidade – data prometida e data de entregue;

2 – Valores totais adquiridos para estoque, investimentos e valores comprados direto para ordens de serviço (periodicidade mensal);

3 – Avaliação global dos fornecedores – analisando consistência de preços, documentação e prestação nas cotações;

4 – Lista de fornecedores qualificados por tipos de serviços.

a. Disponíveis todos os quatro relatórios acima ou equivalentes;

b. Disponíveis três dos relatórios acima;

c. Disponíveis dois dos relatórios acima; **(M)**

d. Disponível um dos relatórios acima;

e. Não existem relatórios de compra. **(A) (I)**

10) Relatórios administrativos – Analise os quatro relatórios apresentados abaixo e assinale quantos deles são disponíveis:

1 – Custos totais de manutenção por unidade de produção;

2 – Comparação dos custos de manutenção orçados versus custos reais acumulados até a data (periodicidade mensal);

3 – Porcentagem dos custos de mão-de-obra e de material, comparados com os custos totais de manutenção;

4 – Porcentagem dos custos totais de manutenção sobre o faturamento da empresa.

a. Disponíveis todos os quatro relatórios acima ou equivalentes;

b. Disponíveis três dos relatórios acima; **(A) (I)**

c. Disponíveis dois dos relatórios acima;

d. Disponível um dos relatórios acima;

e. Não existem relatórios administrativos. **(I)**

### ***AUTOMAÇÃO NA MANUTENÇÃO***

1) Que porcentagem das operações de manutenção é feita por computador?

a. Acima de 90%;**(I)**

b. Entre 75% e 90%;**(M)**

c. Entre 60% e 75%;

- d. Entre 40% e 60%;
  - e. Menos que 40%.**(A)**
- 2) Que porcentagem das atividades de planejamento e programação é feita por computador?
- a. Acima de 90%;**(M) (A) (I)**
  - b. Entre 75% e 90%;
  - c. Entre 60% e 75%;
  - d. Entre 40% e 60%;
  - e. Menos que 40%.
- 3) Que porcentagem das atividades de estoque e compras é feita por computador?
- a. Acima de 90%;**(M) (I)**
  - b. Entre 75% e 90%;
  - c. Entre 60% e 75%;
  - d. Entre 40% e 60%;
  - e. Menos que 40%.**(A)**
- 4) Existe interligação entre as informações da manutenção e as do planejamento da produção?
- a. Sim, automaticamente pelos sistemas automatizados on line;
  - b. Há reuniões conjuntas para decisões; **(M)**
  - c. A manutenção informa as necessidades de interferência à produção;
  - d. O planejamento da produção é que prioriza as tarefas de manutenção; **(A)**
  - e. Não existem interligações – constantes atritos**(I)**
- 5) Os sistemas mecanizados existentes na manutenção, principalmente as interligações com outros sistemas, apresentam precisão e confiabilidade:
- a. Acima de 95%;**(M)**
  - b. Entre 90% e 95%;
  - c. Entre 80 e 95%
  - d. Entre 70% e 80%
  - e. Menos que 70% ou inexistente automação. **(A) (I)**
- 6) Qual o nível de interligação dos lançamentos de horas de manutenção e a folha de pagamentos no departamento de pessoal?
- a. Sistemas on line completamente interligados;
  - b. A manutenção e o departamento de pessoal se informam por listas automatizadas;

- c. Manutenção e departamento de pessoal usam o cartão de ponto como documento comum;
  - d. A manutenção gera lista especial só para atender o departamento de pessoal e vice-versa;  
(A)
  - e. A manutenção apropria as horas, independentemente das horas usadas para pagamento.  
(M) (I)
- 7) Como as informações de custos de manutenção chegam a contabilidade da empresa?
- a. Sistema on line – manutenção e contabilidade; (M) (I)
  - b. As informações fluem por disquetes;
  - c. As ordens de serviço de manutenção são documentos que servem à manutenção e à contabilidade;
  - d. As informações migram por documentos manuais, só para atender ao sistema de custos;  
(A)
  - e. Cada área usa informações independentes.
- 8) Que porcentagem do pessoal de manutenção (planejadores, supervisores e gerentes) usa a informática no seu trabalho?
- a. Acima de 90%;(M) (A) (I)
  - b. Entre 75% e 90%;
  - c. Entre 60% e 75%;
  - d. Entre 40% e 60%;
  - e. Menos que 40%.
- 9) Qual o nível de cooperação existente dentro da empresa para que a manutenção contribua eficazmente no aumento da rentabilidade?
- a. Cooperação irrestrita em todos os níveis; (M)
  - b. Na grande maioria dos casos; (A) (I)
  - c. Cooperação em todos os níveis de supervisão;
  - d. Poucos casos;
  - e. Não existe cooperação;
- 10) A manutenção é consultada quando uma decisão da alta gerência a afeta.
- Exemplo: compra de novos equipamentos etc.?
- a. Em todos os casos e antes de ocorrer; (A) (I)
  - b. Na maioria dos casos antes de ocorrer; (M)

- c. Em poucos casos antes de ocorrer;
- d. Informada a posteriori para tomar providências;
- e. Não é consultada nem informada.