



César Duarte Freitas Gonçalves

Mestre em Engenharia Industrial

**Gestão da Manutenção em Edifícios:
Modelos para uma abordagem LARG
(*Lean, Agile, Resilient e Green*)**

Dissertação para obtenção do Grau de Doutor em
Engenharia Industrial

Orientador: Professor Doutor José António Mendonça
Dias, Professor Auxiliar, Faculdade de Ciências e
Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa

Júri:

Presidente: Prof. Doutor Virgílio António Cruz Machado

Arguentes: Prof. Doutor Francisco Manuel Vicente Sena
Prof. Doutor Luís António de Andrade Ferreira

Vogais: Prof. Doutor Filipe José Didelet Pereira
Prof. Doutor José António Mendonça Dias
Prof. Doutor António Carlos Bárbara Grilo
Prof. Doutor José Augusto da Silva Sobral



Setembro 2014

César Duarte Freitas Gonçalves

Mestre em Engenharia Industrial

**Gestão da Manutenção em Edifícios:
Modelos para uma abordagem LARG
(*Lean, Agile, Resilient e Green*)**

Dissertação para obtenção do Grau de Doutor em
Engenharia Industrial

Orientador: Professor Doutor José António Mendonça
Dias, Professor Auxiliar, Faculdade de Ciências e
Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa

Júri:

Presidente: Prof. Doutor Virgílio António Cruz Machado

Arguentes: Prof. Doutor Francisco Manuel Vicente Sena
Prof. Doutor Luís António de Andrade Ferreira

Vogais: Prof. Doutor Filipe José Didelet Pereira
Prof. Doutor José António Mendonça Dias
Prof. Doutor António Carlos Bárbara Grilo
Prof. Doutor José Augusto da Silva Sobral



Setembro 2014

Gestão Manutenção em Edifícios:

Modelos para uma abordagem LARG (*Lean, Agile, Resilient e Green*)

Copyright © César Duarte Freitas Gonçalves, FCT/UNL e UNL

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

A elaboração desta dissertação beneficiou do regime de isenção de propinas de doutoramento, no âmbito do acordo específico de cooperação existente entre a Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa e o Instituto Superior de Engenharia da Universidade do Algarve.

À Ana Paula e às nossas filhas
Maria e Rita

À alegria de partilharmos a Vida

Agradecimentos

O meu primeiro agradecimento é dirigido ao Professor Doutor José António Mendonça Dias, pela sua orientação científica, pelas sugestões e importantes recomendações que conduziram à concretização deste trabalho de investigação. Quero expressar o meu reconhecimento pela partilha de conhecimento, pela disponibilidade e compreensão demonstrada que, ao longo desta jornada, se revelaram substanciais no alcance dos meus objetivos.

Ao Professor Doutor Virgílio António Cruz Machado, apresento igualmente os meus agradecimentos pelo incentivo e determinação com que sempre pautou as suas palavras.

Os meus agradecimentos dirigem-se também à Universidade Nova de Lisboa pelo apoio institucional dado ao presente trabalho de investigação.

Dirijo um especial agradecimento ao Eng. João Nuno Gonçalves Fernandes, pelo seu envolvimento, disponibilidade e partilha da sua experiência profissional. A sua colaboração e empenho foram essenciais para a aplicação prática dos modelos desenvolvidos nesta dissertação.

Os meus agradecimentos sinceros aos meus colegas, docentes e funcionários, do Departamento de Engenharia Mecânica do Instituto Superior de Engenharia da Universidade do Algarve, pelo apoio que sempre prestaram e pelas palavras de incentivo.

Aos meus amigos sem exceção, quero igualmente agradecer, pelo estímulo da amizade, pelo incentivo e confiança que sempre me demonstraram.

Agradeço ainda aos meus pais e restantes familiares o apoio e a compreensão tida ao longo deste trabalho, pois todos, de alguma forma, contribuíram para que o mesmo se tornasse possível.

À Ana Paula e às nossas filhas Maria e Rita, os meus ternos agradecimentos pela compreensão e apoio em todos os momentos, imprescindíveis para vencer este desafio. Foram os pilares da minha motivação, embora muitas vezes se tenham privado da minha companhia e atenção ao longo da minha dedicação a este trabalho.

Resumo

Face à complexidade, à dimensão tecnológica e às exigências funcionais dos edifícios torna-se necessário equacionar modelos para assegurar o desempenho da gestão da manutenção dos seus ativos físicos. O conceito LARG (*Lean, Agile, Resilient e Green*) fornece uma visão inovadora e abrangente na resposta às necessidades técnicas, económicas e competitivas atuais.

O presente trabalho promove os conceitos dos paradigmas LARG numa abordagem de integração à gestão da manutenção de ativos físicos em edifícios. O modelo desenvolvido pretende estabelecer uma visão da manutenção pró-ativa que viabilize a máxima fiabilidade, disponibilidade e conforto das instalações, garantindo eficiência e qualidade de serviço do edifício ao longo do seu ciclo de vida, proporcionando a segurança ambiental, de pessoas e bens, a custos otimizados.

O modelo LARG pretende contribuir para um melhor desempenho da gestão das atividades da manutenção, verificando aspetos atualmente fundamentais no âmbito da sua atuação e em coerência com as estratégias do negócio das organizações.

Nesta dissertação é proposto um modelo de avaliação do desempenho da gestão da manutenção, integrando os seus diferentes aspetos no âmbito dos paradigmas LARG. Este modelo baseia-se no uso de um sistema harmonizado de indicadores chave de desempenho (KPIs). A metodologia contempla a seleção de KPIs relevantes para a manutenção, através da aplicação de métodos MCDA (*Multiple Criteria Decision Aiding*), considerando a preferência do decisor. O modelo de avaliação de desempenho da gestão da manutenção é estabelecido através da agregação ponderada de KPIs selecionados para as categorias LARG.

A metodologia desenvolvida foi aplicada a um caso de estudo baseado na gestão das atividades da manutenção de um aeroporto. Foram identificados e desenvolvidos KPIs com interesse para medir aspetos fundamentais da manutenção integrados nas categorias LARG. A metodologia permitiu selecionar os KPIs mais relevantes com a preferência do decisor. Os resultados da avaliação LARG proporcionaram uma análise global do desempenho da manutenção que compreendeu a interpretação dos objetivos alcançados e a perceção dos desvios mais preocupantes. Caberá aos gestores da manutenção determinar orientações para as correções técnicas, funcionais e organizacionais da manutenção.

A implementação da metodologia proposta possibilita às organizações otimizar a gestão da manutenção dos seus ativos com melhor desempenho, a um menor custo, com uma gestão técnica e operacional ágil, correndo menores riscos, resiliente a adversidades e, sobretudo, com responsabilidade ambiental.

Palavras-chave

Gestão da Manutenção; Ativos Físicos; KPI; LARG; MCDA; ELECTRE

Abstract

Given buildings' complexity, technological dimension and functional requirements, it is necessary to equate models so as to ensure the performance of maintenance management of their physical assets. The LARG (Lean, Agile, Resilient and Green) concept provides an innovative and comprehensive insight in the response to current technical, economic and competitive needs.

This study promotes the concepts of LARG paradigms in an approach of integration to maintenance management of physical assets in buildings. The model developed seeks to establish a vision of proactive maintenance that enables facilities' maximum reliability, availability and comfort, ensuring the building's efficiency and service quality throughout its life cycle, providing environmental safety of people and property, at optimised costs.

The LARG model aims at contributing to a better performance of activities' maintenance management, verifying aspects that are, currently, critical within the scope of its performance and in line with organisations' business strategies.

This dissertation proposes a model to assess maintenance management performance, integrating its various aspects within the scope of LARG paradigms. This model is based on the use of a harmonised system of key Performance Indicators (KPIs). The methodology encompasses the selection of KPIs that are relevant for maintenance, through the application of MCDA (Multiple Criteria Decision Aiding) methods, considering the decision maker's preference. The model of assessment of maintenance management performance is established through the weighted aggregation of KPIs selected for LARG categories.

The methodology was applied to a case study based on the maintenance management of activities of an airport. Relevant KPIs in the measurement of key aspects of maintenance integrated in LARG categories were identified and developed. The methodology allowed selecting the most relevant KPIs with the preference of the decision maker. Results of LARG assessment provided an overall analysis of maintenance performance that involved the interpretation of the goals attained and the perception of the most worrying deviations. It is up to maintenance managers to determine guidelines for the technical, functional and organisational adjustments of maintenance.

The implementation of the proposed methodology enables organisations to optimise the maintenance management of their assets with better performance, at a lower cost, with a responsive technical and operational management, with reduced risks, resilient to adversity and, above all, with environmental responsibility.

Keywords:

Maintenance Management; Physical Assets; KPI; LARG; MCDA; ELECTRE

Índice de Matérias

CAPÍTULO 1 - Introdução

1.1. Âmbito da Dissertação	1
1.2. Objetivos da Dissertação	2
1.3. Motivação	3
1.4. Estrutura da Dissertação	4

CAPÍTULO 2 - Abordagem à Manutenção em Edifícios

2.1. Introdução.....	7
2.2. Manutenção em Edifícios.....	8
2.3. Manutenção em Edifícios, Necessidades e Objetivos	10
2.4. Exigências Funcionais dos Edifícios	12
2.5. Dimensão Tecnológica dos Edifícios	15
2.6. Sistemas de Gestão da Manutenção	17
2.6.1. Estrutura organizacional, funções e planeamento	17
2.6.2. Implementação da manutenção	19
2.6.3. Documentos técnicos para a manutenção	19
2.6.4. Sistemas de informação na gestão da manutenção	21
2.6.5. Manutenção e qualidade	24
2.6.6. Manutenção, higiene, saúde e segurança.....	25
2.6.7. Manutenção e ambiente	25
2.7. Eficiência Energética.....	26
2.8. Legislação e Normas Aplicáveis	28
2.9. Custos de manutenção	29
2.10. Objetivos e Estratégia da Manutenção	33
2.11. Desempenho da Gestão da Manutenção	36
2.11.1. <i>Key Performance Indicators</i> (KPIs)	38

CAPÍTULO 3 – Abordagem Paradigmática “LARG” à Gestão da Manutenção

3.1. Introdução.....	43
3.2. Modelação da Manutenção LARG	44
3.3. LARG (<i>Lean, Agile, Resilient e Green</i>)	48
3.3.1. <i>Lean</i>	51
3.3.2. <i>Agile</i>	59
3.3.3. <i>Resilient</i>	63
3.3.4. <i>Green</i>	67

CAPÍTULO 4 – Modelos de Apoio à Gestão da Manutenção

4.1. Introdução.....	73
4.2. TPM - <i>Total Productive Maintenance</i>	74
4.2.1. Implementação de metodologias TPM	77
4.3. RAMS – <i>Reliability, Availability, Maintainability and Safety</i>	86
4.3.1. Fiabilidade	87
4.3.1.1. Modelos de Fiabilidade	88
4.3.1.2. Fiabilidade Humana	89
4.3.2. Disponibilidade	91
4.3.3. Manutibilidade.....	91
4.3.4. Segurança	93
4.4. FMEA - <i>Failure Mode and Effects Analysis</i>	94
4.5. RCM – <i>Reliability Centred Maintenance</i>	95
4.6. BIM - <i>Building Information Model</i>	96

4.6.1. Contexto histórico do BIM.....	98
4.6.2. Benefícios do BIM no ciclo de vida dos edifícios.....	99
4.6.3. Contributos do BIM na gestão de edifícios.....	101
4.6.3.1. Eficiência energética.....	102
4.6.3.2. Segurança.....	103
4.6.3.3. Ambiente.....	105
4.6.3.4. Gestão da manutenção.....	106
4.6.4. Interoperabilidade do BIM com <i>software</i> de gestão da manutenção.....	109
4.6.5. Contributos do BIM para uma manutenção LARG.....	112

CAPÍTULO 5 – Modelos de Apoio Multicritério à Decisão

5.1. Introdução.....	119
5.2. Apoio Multicritério à Decisão.....	120
5.2.1. Método ELECTRE.....	123
5.2.1.1. ELECTRE I.....	126
5.2.1.2. ELECTRE III.....	134
5.2.2. <i>Analytic Hierarchy Process</i> (AHP).....	142
5.2.2.1. Limitações do método AHP.....	144
5.2.2.2. Procedimentos do método AHP.....	146
5.2.3. Procedimento Simos revisto – <i>Software</i> SRF.....	150
5.2.3.1. Principais vantagens do procedimento de Simos revisto:.....	151
5.2.3.2. Limitações do SRF e do procedimento de Simos revisto:.....	152
5.3. Aplicação dos métodos MCDA.....	153

CAPÍTULO 6 – Metodologia Proposta

6.1. Introdução.....	155
6.2. Avaliação de Desempenho da Gestão da Manutenção.....	156
6.3. Modelo para avaliação LARG.....	158
6.3.1. Objetivos e estratégias da manutenção.....	160
6.3.2. Seleção de indicadores.....	161
6.3.2.1. Aplicação dos modelos MCDA.....	161
6.3.2.2. Definição dos critérios de avaliação.....	164
6.3.2.3. Pesos e limiares dos critérios.....	169
6.3.2.4. Pré-seleção de KPIs.....	171
6.3.2.5. Escala de avaliação das alternativas (KPIs).....	172
6.3.2.6. Seleção das alternativas (KPIs).....	173
6.3.3. Quantificação dos indicadores LARG selecionados.....	176
6.3.4. Pesos para agregação dos indicadores LARG.....	177
6.3.5. Normalização dos resultados dos indicadores.....	179
6.3.6. Indicador Global LARG.....	181
6.4. Representações Gráficas dos Resultados LARG.....	183
6.5. Análise de Resultados LARG.....	184

CAPÍTULO 7 – Aplicação da Metodologia – Caso de estudo Aeroporto

7.1. Introdução.....	185
7.2. Apresentação do Caso de Estudo – Aeroporto.....	186
7.3. Aplicação da Metodologia.....	194
7.3.1. Objetivos da gestão da manutenção no aeroporto.....	194
7.3.2. Critérios de avaliação dos KPIs.....	198
7.3.3. Pré-seleção dos indicadores (KPIs).....	201
7.3.4. Avaliação dos KPIs.....	206
7.3.5. Ordenação dos KPIs.....	209
7.3.6. Seleção dos KPIs.....	216
7.3.7. Atribuição das ponderações para agregação LARG.....	221
7.3.8. Avaliação LARG.....	225
7.4. Análise dos resultados da avaliação LARG.....	233

CAPÍTULO 8 – Conclusões e Sugestões para Trabalhos Futuros	
8.1. Conclusões.....	243
8.2. Sugestões para Trabalhos Futuros.....	248
 BIBLIOGRAFIA.....	 251
 ANEXO I – Contribuições do BIM no apoio à gestão da manutenção LARG em edifícios.....	 263
 ANEXO II – KPIs propostos para avaliação LARG.....	 269
 ANEXO III – Quantificação dos KPIs (caso de estudo aeroporto).....	 275
 ANEXO IV – Código VBA – Métodos MCDA.....	 281
IV.1. Código – Método ELECTRE I	282
IV.1.1. Código – Gráfico de decisão “ <i>Kernel</i> ”	288
IV.2. Código – Método AHP.....	290

Índice de Figuras

Figura 2.1 – Tipos de edifícios e tipos de utilização.....	8
Figura 2.2 – Instalações e equipamentos em edifícios.....	9
Figura 2.3 – Exemplo de estrutura organizacional do departamento de manutenção.....	17
Figura 2.4 – Iceberg de custos.....	30
Figura 2.5 – Custos versus nível de manutenção.....	31
Figura 2.6 – Rácios da manutenção orientados para o custo.....	32
Figura 2.7 – Rácios da manutenção orientados para o custo (globais da organização).....	32
Figura 2.8 – Fatores que influenciam o desempenho da manutenção.....	34
Figura 3.1 – Modelo conceitual da gestão da manutenção LARG.....	47
Figura 3.2 – Pirâmide da gestão da manutenção.....	54
Figura 4.1 – Pilares fundamentais do TPM.....	77
Figura 4.2 – Integração do BIM com CMMS no processo de gestão da manutenção.....	111
Figura 4.3 – Contribuições do BIM na integração com a manutenção LARG.....	116
Figura 5.1 – Processo de decisão por multicritérios.....	122
Figura 5.2 – Estrutura geral do método ELECTRE III.....	135
Figura 5.3 – Exemplo de árvore de hierarquias no método AHP.....	143
Figura 6.1 – Gestão da manutenção, expectativas e desempenho.....	157
Figura 6.2 – Estrutura conceptual da metodologia proposta.....	160
Figura 6.3 – Metodologia para seleção de indicadores (KPIs) através do método ELECTRE I.....	163
Figura 6.4 – Metodologia para seleção de indicadores (KPIs) através do método ELECTRE III.....	164
Figura 6.5 – Avaliação global da manutenção LARG.....	177
Figura 6.6 – Interpolação linear.....	180
Figura 6.7 – Diagrama de contribuições na avaliação LARG.....	183
Figura 7.1 – Estrutura organizacional do departamento de manutenção do aeroporto.....	189
Figura 7.2 – Diagrama de contribuições na avaliação LARG (2012).....	234
Figura 7.3 – Diagrama de contribuições na avaliação LARG (2013).....	236
Figura 7.4 – Diagrama de contribuições na avaliação LARG (comparação 2012/2013).....	240
Figura I.1 – Contribuições do BIM para a manutenção <i>Lean</i>	264
Figura I.2 – Contribuições do BIM para a manutenção <i>Agile</i>	265
Figura I.3 – Contribuições do BIM para a manutenção <i>Resilient</i>	266
Figura I.4 – Contribuições do BIM para a manutenção <i>Green</i>	267
Figura IV.1 – Folha Excel “Electrel-Dados”.....	287
Figura IV.2 – Folha Excel “Electrel-Result”.....	287
Figura IV.3 – Folha Excel “Grafico”, identificação do “Kernel” (alternativa 3).....	289
Figura IV.4 – Folha Excel “AHP-Dados”.....	292
Figura IV.4 – Folha Excel “AHP-Result”.....	292

Índice de Tabelas

Tabela 2.1 – Lista de legislação e normas da manutenção em edifícios.....	29
Tabela 5.1 – Variantes do método ELECTRE.....	124
Tabela 5.2 – Escala Fundamental do AHP (Saaty).....	146
Tabela 5.3 – Valores do índice aleatório de consistência – RCI (Saaty).....	149
Tabela 6.1 – Escala “Likert” para avaliação das alternativas (KPIs).....	173
Tabela 7.1 – Pesos dos critérios gerados pelo <i>software</i> SKF.....	199
Tabela 7.2 – Limiares de discriminação para cada critério (ELECTRE III).....	200
Tabela 7.3 – Lista de KPIs propostos para a categoria <i>Lean</i> (conjunto de alternativas).....	202
Tabela 7.4 – Lista de KPIs propostos para a categoria <i>Agile</i> (conjunto de alternativas).....	203
Tabela 7.5 – Lista de KPIs propostos para a categoria <i>Resilient</i> (conjunto de alternativas).....	204
Tabela 7.6 – Lista de KPIs propostos para a categoria <i>Green</i> (conjunto de alternativas).....	205
Tabela 7.7 – Avaliação dos KPIs para a categoria <i>Lean</i> (desempenho das alternativas).....	206
Tabela 7.8 – Avaliação dos KPIs para a categoria <i>Agile</i> (desempenho das alternativas).....	207
Tabela 7.9 – Avaliação dos KPIs para a categoria <i>Resilient</i> (desempenho das alternativas).....	208
Tabela 7.10 – Avaliação dos KPIs para a categoria <i>Green</i> (desempenho das alternativas).....	208
Tabela 7.11 – Ordenação dos KPIs para a categoria <i>Lean</i> através do método ELECTRE I.....	209
Tabela 7.12 – Ordenação dos KPIs para a categoria <i>Agile</i> através do método ELECTRE I.....	210
Tabela 7.13 – Ordenação dos KPIs para a categoria <i>Resilient</i> através do método ELECTRE I.....	211
Tabela 7.14 – Ordenação dos KPIs para a categoria <i>Green</i> através do método ELECTRE I.....	212
Tabela 7.15 – Ordenação dos KPIs para a categoria <i>Lean</i> através do método ELECTRE III.....	213
Tabela 7.16 – Ordenação dos KPIs para a categoria <i>Agile</i> através do método ELECTRE III.....	214
Tabela 7.17 – Ordenação dos KPIs para a categoria <i>Resilient</i> através do método ELECTRE III.....	215
Tabela 7.18 – Ordenação dos KPIs para a categoria <i>Green</i> através do método ELECTRE III.....	216
Tabela 7.19 – Seleção dos KPIs para a categoria <i>Lean</i>	217
Tabela 7.20 – Seleção dos KPIs para a categoria <i>Agile</i>	218
Tabela 7.21 – Seleção dos KPIs para a categoria <i>Resilient</i>	219
Tabela 7.22 – Seleção dos KPIs para a categoria <i>Green</i>	221
Tabela 7.23 – Matriz de comparação AHP e pesos para agregação LARG.....	222
Tabela 7.24 – Matriz de comparação AHP e pesos para ponderação dos KPIs na categoria <i>Lean</i>	223
Tabela 7.25 – Matriz de comparação AHP e pesos para ponderação dos KPIs na categoria <i>Agile</i>	223
Tabela 7.26 – Matriz de comparação AHP e pesos para ponderação dos KPIs na categoria <i>Resilient</i>	224
Tabela 7.27 – Matriz de comparação AHP e pesos para ponderação dos KPIs na categoria <i>Green</i>	224
Tabela 7.28 – Avaliação da gestão da manutenção na categoria <i>Lean</i> (2012).....	227
Tabela 7.29 – Avaliação da gestão da manutenção na categoria <i>Lean</i> (2013).....	227
Tabela 7.30 – Avaliação da gestão da manutenção na categoria <i>Agile</i> (2012).....	228
Tabela 7.31 – Avaliação da gestão da manutenção na categoria <i>Agile</i> (2013).....	228
Tabela 7.32 – Avaliação da gestão da manutenção na categoria <i>Resilient</i> (2012).....	229
Tabela 7.33 – Avaliação da gestão da manutenção na categoria <i>Resilient</i> (2013).....	229
Tabela 7.34 – Avaliação da gestão da manutenção na categoria <i>Green</i> (2012).....	230
Tabela 7.35 – Avaliação da gestão da manutenção na categoria <i>Green</i> (2013).....	230
Tabela 7.36 – Avaliação global LARG da gestão da manutenção (2012).....	231
Tabela 7.37 – Avaliação global LARG da gestão da manutenção (2013).....	232
Tabela II.1 – Lista de KPIs propostos para a categoria <i>Lean</i> (conjunto de alternativas).....	270
Tabela II.2 – Lista de KPIs propostos para a categoria <i>Agile</i> (Conjunto de alternativas).....	271
Tabela II.3 – Lista de KPIs propostos para a categoria <i>Resilient</i> (Conjunto de alternativas).....	272
Tabela II.4 – Lista de KPIs propostos para a categoria <i>Green</i> (Conjunto de alternativas).....	273
Tabela III.1 – Quantificação dos KPIs selecionados para a categoria <i>Lean</i>	276
Tabela III.2 – Quantificação dos KPIs selecionados para a categoria <i>Agile</i>	277
Tabela III.3 – Quantificação dos KPIs selecionados para a categoria <i>Resilient</i>	278
Tabela III.4 – Quantificação dos KPIs selecionados para a categoria <i>Green</i>	279

Abreviaturas

AEC	Arquitetura, Engenharia e Construção
AFTM	<i>Accelerated Failure Time Models</i>
AHP	<i>Analytic Hierarchy Process</i>
ANP	<i>Analytic Network Process</i>
ASEP	<i>Accident Sequence Evaluation Program</i>
AVAC	Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado
BIM	<i>Building Information Model</i>
BREAM	<i>Building Research Establishment Environmental Assessment Method</i>
BSLCA	<i>Building Services Life Cycle Analysis</i>
CAD	<i>Computer Aided Design</i>
CIM	<i>Computer Integrated Manufacturing</i>
CMMS	<i>Computerized Maintenance Management System</i>
COBie	<i>Construction Operations Building information exchange</i>
CR	<i>Consistency Ratio</i> (rácio de consistência no método AHP)
CREAM	<i>Cognitive Reliability and Error Analysis</i>
EAM	<i>Enterprise Asset Management</i>
ELECTRE	<i>ELimination Et Choix Traduisant la REalité</i>
FM	<i>Facilities Management</i>
FMEA	<i>Failure Mode and Effects Analysis</i>
ETA	<i>Event Tree Analysis</i>
FTA	<i>Fault Tree Analysis</i>
GDM	<i>Group Decision Making</i>
GMAC	Gestão da Manutenção Assistida por Computador
HEART	<i>Human Error Assessment and Reduction Technique</i>
HEP	<i>Human Error Probability</i>
HRA	<i>Human Reliability Analysis</i>
IAI	<i>Industrial Alliance for Interoperability</i>
IFC	<i>Industry Foundation Classes</i>
IT	<i>Information Technology</i>
KPI	<i>Key Performance Indicator</i>
JIT	<i>Just-In-Time</i>
LARG	<i>Lean, Agile, Resilient e Green</i>
LCA	<i>Lifecycle Assessment Analysis</i>
LCC	<i>Life Cycle Cost</i>
LEED	<i>Leadership in Energy and Environmental Design</i>
MADM	<i>Multiple Attribute Decision Making</i>
MAMD	Modelos/Métodos de Apoio Multicritério à Decisão

MCDA	<i>Multiple Criteria Decision Aiding</i>
MCDM	<i>Multiple Criteria Decision Making</i>
MEP	<i>Mechanical, Electrical, Plumbing</i>
MODM	<i>Multiple Objective Decision Making</i>
MPPS	<i>Maintenance Personnel Performance Simulation</i>
MTBF	<i>Mean Time Between Failures</i>
MTTR	<i>Mean Time To Repair</i>
NC	<i>Net Concordance Value</i> , valor de concordância líquida
ND	<i>Net Discordance Value</i> , valor de discordância líquida
OEE	<i>Overall Equipment Effectiveness</i>
OTs	Ordens de Trabalho
PAM	<i>Physical Asset Management</i>
PHM	<i>Proportional Hazards Modelling</i>
PM	<i>Productive Maintenance</i>
QAI	Qualidade do Ar Interior
RAMS	<i>Reliability, Availability, Maintainability and Safety</i>
RCFA	<i>Root Cause Failure Analysis</i>
RCM	<i>Reliability Centered Maintenance</i>
RODS	<i>Reliability Of Dormant Systems</i>
RPN	<i>Risk Priority Number</i>
SHERPA	<i>Systematic Human Error Reduction and Prediction Approach</i>
SRF	Simos-Roy-Figueira (software)
TESEO	<i>Technique for Empirical Simulation of Errors in Operations</i>
THERP	<i>Technique for Human-Error Rate Prediction</i>
TI	Tecnologia de Informação
TPM	<i>Total Productive Maintenance</i>
TPS	<i>Toyota Production System</i>
TQM	<i>Total Quality Management</i>
VBA	<i>Visual Basic for Applications</i>

Símbolos

a_i	Alternativa i (ELECTRE)
a_{ij}	Importância do critério i sobre o critério j (AHP)
a_p	Alternativa p
a_q	Alternativa q
A	Conjunto de alternativas (ELECTRE)
A'	Matriz de comparação de pares (AHP)
A_i	Valor normalizado de cada KPI <i>Agile</i>
A_m	Conjunto de alternativas (KPIs) para a categoria <i>Agile</i> ;
A_n	Conjunto de KPIs selecionados para a categoria <i>Agile</i>
c_{pq}	Índice de concordância do conjunto $C(p, q)$ (ELECTRE I)
c_{qp}	Índice de concordância do conjunto $C(q, p)$ (ELECTRE I)
C	Matriz de índices de concordância (ELECTRE I)
C_n	Critério de índice n
\bar{C}	Limiar de concordância (ELECTRE I)
$C(p, q)$	Conjunto de concordância (ELECTRE I)
$C(a, b)$	Índices de concordância global de a prevalecer b (ELECTRE III)
$C_j(a, b)$	Índice de concordância com a prevalência da alternativa a sobre b para o critério g_j (ELECTRE III)
CI	Índice de consistência (AHP)
CR	Rácio de consistência (AHP)
d_{pq}	Índice de discordância do conjunto $D(p, q)$ (ELECTRE I)
D	Matriz de índices de discordância (ELECTRE I)
\bar{D}	Limiar de discordância (ELECTRE I)
D_k	Processo de destilação k (ELECTRE III)
\bar{D}_{k+1}	Destilação descendente (ELECTRE III)
\underline{D}_{k+1}	Destilação ascendente (ELECTRE III)
$D(p, q)$	Conjunto de discordância (ELECTRE I)
$D_j(a, b)$	Índice de discordância com a prevalência da alternativa a sobre b para o critério g_j (ELECTRE III)
e_{pq}	Elementos da matriz \bar{E}
\bar{E}	Matriz domínio de concordância (ELECTRE I)
f_{pq}	Elementos da matriz \bar{F}

$f_{D_k}^{\lambda_{k+1}}(a)$	Número de alternativas que prevalecem a (ELECTRE III)
F	Conjunto de critérios (ELECTRE)
\bar{F}	Matriz domínio de discordância (ELECTRE I)
g_j	Critério de índice j (ELECTRE)
$g_j(a)$	Desempenho da alternativa a segundo o critério g_j (ELECTRE III)
G_i	Valor normalizado de cada KPI <i>Green</i>
G_m	Conjunto de alternativas (KPIs) para a categoria <i>Green</i>
G_n	Conjunto de KPIs selecionados para a categoria <i>Green</i>
I	Valor da agregação dos KPI na categoria I
k	Valor real resultado do KPI, valor a normalizar
k'	Índice de desempenho normalizado [0;1]
k_{\max}	Melhor valor da escala de normalização do KPI
k_{\min}	Pior valor da escala de normalização do KPI
K_i	Valor normalizado do KPI i na categoria I
L_i	Valor normalizado de cada KPI <i>Lean</i>
L_n	Conjunto de KPIs selecionados para a categoria <i>Lean</i>
L_m	Conjunto de alternativas (KPIs) para a categoria <i>Lean</i>
$LARG$	Índice global de avaliação LARG
m	Número de alternativas
n	Número de elementos
NC_m	<i>Net Concordance</i> , valor de concordância líquida da alternativa m
NC_p	<i>Net Concordance</i> , valor de concordância líquida da alternativa p
ND_m	<i>Net Discordance</i> , valor de discordância líquida da alternativa m
ND_p	<i>Net Discordance</i> , valor de discordância líquida da alternativa p
p_j	Limiar de preferência para o critério g_j (ELECTRE III)
$p_{D_k}^{\lambda_{k+1}}(a)$	Número de alternativas prevalecidas por a (ELECTRE III)
q_j	Limiar de indiferença para o critério g_j (ELECTRE III)
$q_{D_k}^{\lambda_{k+1}}(a)$	Posição relativa da alternativa a face ao conjunto A (ELECTRE III)
r_{ij}	Desempenho normalizado da alternativa a_i segundo o critério g_j (ELECTRE I)
R	Matriz de desempenho normalizada (ELECTRE I)
RCl	Índice aleatório de consistência (AHP)
R_i	Valor normalizado de cada KPI <i>Resilient</i>
R_m	Conjunto de alternativas (KPIs) para a categoria <i>Resilient</i>

R_n	Conjunto de KPIs selecionados para a categoria <i>Resilient</i>
$s(\lambda_k)$	Limite de discriminação, com o nível de corte λ_k (ELECTRE III)
$S_A^{\lambda_{k+1}}$	Relação de prevalência discriminatória entre as alternativas do conjunto A com o nível de corte λ_{k+1} (ELECTRE III)
v_j	Limiar de veto para o critério g_j (ELECTRE III)
v_{ij}	Valor ponderado de r_{ij} com o peso w_j (ELECTRE I)
V	Matriz de desempenho normalizada ponderada (ELECTRE I)
w_j	Peso ou importância relativa do critério j
w'_j	Média geométrica de cada linha da matriz A' (AHP)
W	Conjunto de pesos relativos ao conjunto de critérios
Wk_i	Peso para agregação de cada indicador K_i
W_l	Peso para agregação do valor da categoria l no índice LARG
WL_i	Peso para agregação de cada KPI <i>Lean</i>
WA_i	Peso para agregação de cada KPI <i>Agile</i>
WR_i	Peso para agregação de cada KPI <i>Resilient</i>
WG_i	Peso para agregação de cada KPI <i>Green</i>
W_L	Peso para agregação da avaliação na categoria <i>Lean</i>
W_A	Peso para agregação da avaliação na categoria <i>Agile</i>
W_R	Peso para agregação da avaliação na categoria <i>Resilient</i>
W_G	Peso para agregação da avaliação na categoria <i>Green</i>
x_{ij}	Desempenho da alternativa a_i segundo o critério g_j (ELECTRE I)
X	Matriz de desempenho (ELECTRE I)
Z	Diferença de importância entre critérios (SRF)
\bar{Z}	Matriz de domínio agregada (ELECTRE I)
z_{pq}	Elementos da matriz \bar{Z} (ELECTRE I)
α	Coefficiente de destilação (ELECTRE III)
β	Coefficiente de destilação (ELECTRE III)
λ_k	Nível de corte (ELECTRE III)
λ_{\max}	Autovalor máximo (<i>maximum eigenvalue</i>) (AHP)
$\sigma(a,b)$	Matriz dos índices de credibilidade (ELECTRE III)

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1. Âmbito da Dissertação

O presente trabalho insere-se no âmbito da gestão da manutenção, com especial ênfase para os edifícios, consistindo na sua plenitude, uma área da Engenharia Industrial.

O conceito de Manutenção tem evoluído e continua a evoluir no tempo e, conseqüentemente, dentro de cada organização (Gonçalves, 2005). As organizações modernas, nomeadamente aquelas que detêm património imobiliário edificado, necessitam de modelos de trabalho e gestão à altura das exigências e em função dos serviços e utilidades que as suas instalações prestam. Neste âmbito, julga-se necessário o desenvolvimento de modelos mais ajustados à gestão da manutenção das instalações que integram as funcionalidades dos edifícios e grandes estruturas.

Perante a competitividade, cada vez mais evidenciada entre as empresas, estas necessitam de atingir diversos aspetos como o da inovação, diversidade, melhoria contínua e qualidade ao melhor preço. Para atingir estes objetivos, as empresas têm de corresponder com flexibilidade e eficácia, sempre tendo em atenção a qualidade dos seus produtos e serviços para satisfação dos seus clientes.

O progressivo aumento da complexidade das instalações, sistema e equipamentos nos edifícios acompanhou a crescente exigência na qualidade do serviço por parte do cliente, assim como os custos de operação, a que acrescem as preocupações atuais de segurança e ambientais.

Com a evolução tecnológica surgem novas práticas, técnicas e filosofias na manutenção. Assim, o conceito da atuação da gestão da manutenção centra-se, cada vez mais, na eliminação de desperdícios e redução de custos, na capacidade técnica e agilidade das equipas de trabalho, na capacidade de resposta a situações de emergência e disruptivas dos processos e, com primordial atenção, para as questões ambientais, nomeadamente, para a eficiência energética e minimização da agressividade ambiental nas suas intervenções. Atualmente, gerir a manutenção é uma tarefa complexa e compreende o domínio de um vasto número de disciplinas e conceitos.

Neste âmbito, surge o conceito LARG (*Lean, Agile, Resilient e Green*), que pretende fornecer às organizações na atualidade, uma visão inovadora e abrangente na resposta às necessidades técnicas, económicas e competitivas.

O tema da dissertação é bastante abrangente, contudo, procuraram-se abordar modelos e metodologias mais adequadas para uma abordagem LARG no seio da manutenção. Estas metodologias, conceitos e soluções, numa perspetiva integrada, podem contribuir para a avaliação

do seu desempenho, análise e implementação das melhores práticas para assegurar o bom funcionamento dos ativos em edifícios.

Os gestores da manutenção têm a responsabilidade de planejar, controlar e supervisionar a manutenção e melhoria dos métodos de organização que também contribuem para os objetivos gerais dentro das empresas (Gonçalves *et al.*, 2014b).

No âmbito desta dissertação são utilizados métodos MCDA (*Multiple Criteria Decision Aiding*) para apoio à difícil tarefa de seleção de KPIs relevantes para a medição de desempenhos da manutenção. Estas ferramentas de apoio à decisão permitem diminuir o nível de subjetividade num processo de decisão.

Qualquer problema de decisão multicritério consiste na hipótese de existirem, pelo menos duas alternativas como solução, podendo o decisor conduzir a sua preferência com base em vários pontos de vista através de critérios, muitas vezes conflituosos entre si. A tomada de decisão na seleção de KPIs relevantes para medir o desempenho num determinado aspeto da manutenção pode, segundo Gonçalves *et al.* (2014b), ser auxiliado através de métodos MCDA para a problemática da ordenação.

As organizações, incluindo os seus departamentos de manutenção, podem recorrer aos modelos de apoio multicritério à decisão para a resolução de distintos problemas. Atualmente, a competitividade das organizações está fortemente relacionada com a forma como os problemas são analisados e como as decisões são tomadas para melhorar os seus desempenhos. Acontece que os gestores, na maioria das situações, não dispõem de tempo para se dedicarem ao processo de construção do modelo de decisão que melhor se adequa à problemática das situações, e que possa refletir e justificar as suas preferências.

Este foi também o âmbito desta investigação que encetou o objetivo do desenvolvimento de uma metodologia para a seleção de indicadores de desempenho da gestão da manutenção na integração com os paradigmas LARG.

No contexto da gestão da manutenção, os modelos desenvolvidos e propostos são também aplicáveis à indústria da produção, porém, deu-se especial atenção a aspetos mais proeminentes dos ativos físicos e instalações típicas de edifícios e grandes estruturas.

1.2. Objetivos da Dissertação

O presente trabalho contribui com inovação com três principais objetivos. O primeiro pretende contribuir com uma abordagem à gestão da manutenção, incidente nas metodologias e conceitos que melhor possam proporcionar uma gestão da manutenção eficiente na sua extensão aos edifícios, considerando as instalações, os equipamentos e sistemas que lhes dão funcionalidade. Apresenta-se um conjunto de metodologias integradas que podem contribuir para a melhor eficiência da gestão da manutenção, em assegurar o melhor estado e funcionamento dos edifícios,

potenciando uma melhor imagem, máxima produtividade e bem-estar para todos os que neles trabalham, para os seus residentes e utentes, com o mínimo custo possível.

O segundo promove os conceitos LARG numa abordagem de integração à gestão da manutenção. Pretendeu-se contextualizar a manutenção de uma forma LARG, modelando a sua gestão para uma atitude pró-ativa e numa perspetiva de melhoria contínua. Pretende-se com inovação introduzir a conceção LARG, como filosofia de trabalho, de análise a implementar na gestão da manutenção de instalações e equipamentos em edifícios.

Como terceiro objetivo, apresentar um modelo para a avaliação do desempenho da gestão da manutenção LARG. Neste âmbito, é proposta uma metodologia para a seleção de indicadores de desempenho da gestão da manutenção que, com base em métodos multicritérios de apoio à decisão, permite identificar indicadores relevantes para a sua avaliação, assente nas premissas LARG, numa determinada realidade prática.

Julga-se que, de um modo geral, as metas ambicionadas foram atingidas. Esta investigação não possui o objetivo de esgotar os conhecimentos sobre modelos relativos à manutenção em edifícios e muito menos sobre metodologias de apoio à gestão da manutenção. Julga-se que as contribuições apresentadas possam despertar o interesse daqueles que estão envolvidos com o tema ou cuja utilidade destas matérias esteja relacionada com as atividades profissionais ou de investigação em curso.

1.3. Motivação

A motivação para o trabalho desenvolvido nesta dissertação prende-se principalmente com o interesse pelo tema da gestão da manutenção em edifícios e com as atividades desenvolvidas nos últimos anos.

No plano do desenvolvimento pessoal, investiu-se na formação em áreas relacionadas com equipamentos e instalações em edifícios, legislação, métodos e técnicas para a manutenção dos mesmos. O envolvimento num estudo sobre a gestão da manutenção em hotéis (Gonçalves e Mortal, 2005), a docência e organização de ações de formação sobre temáticas no âmbito da gestão da manutenção em edifícios (Gonçalves, 2008), têm vindo a aguçar o interesse em contribuir com inovação no desenvolvimento de modelos de apoio à gestão da manutenção em edifícios.

O conhecimento nesta área revela-se útil no enfoque de matérias lecionadas na atividade de docência no ensino superior. A instituição onde leciona tem vindo a ministrar cursos com conteúdos técnicos especializados, em matérias no domínio da energia, ambiente e manutenção, sobretudo, relacionadas diretamente com os edifícios.

Sendo o Algarve uma região onde a indústria dominante é o turismo, um setor estratégico para a economia portuguesa, com inúmeras instalações hoteleiras, possuindo também aeroporto, centros comerciais, hospitais, escolas, entre outros tipos de edifícios e grandes estruturas, o seu

funcionamento é de importância vital para a qualidade dos serviços e imagem da região, e face às exigências legislativas atuais. O tecido empresarial na região do Algarve compreende uma parte significativa de empresas, com negócios na área dos edifícios e serviços relacionados com as suas funcionalidades.

Na literatura existe um menor número de contribuições dedicadas ao tema da manutenção em edifícios, comparativamente à indústria da produção. Apesar das suas particularidades, tem-se verificado que as experiências adquiridas na indústria são adotadas com sucesso para a área dos edifícios. A motivação prende-se também com a necessidade de articular a devida adaptação de modelos, diferentes conceitos de utilização e responder a questões e necessidades, atualmente mais relevantes das práticas de manutenção em edifícios. Neste contexto, está também subjacente a intenção de expor as referidas adaptações recorrendo, sempre que necessário, a exemplos concretos no âmbito dos edifícios.

Atualmente, a manutenção em edifícios e grandes estruturas exige uma manutenção atenta para atender à complexidade tecnológica, às exigências legais e normativas, aos requisitos da qualidade dos serviços que prestam, às questões ambientais, aos fatores económicos e competitivos, exigindo uma gestão otimizada em sintonia com os objetivos da organização. Os paradigmas que integram o conceito LARG (*Lean, Agile, Resilient e Green*) parecem evidenciar uma relação harmoniosa para a interpretação dos aspetos importantes da gestão da manutenção moderna, nomeadamente, em edifícios.

A motivação para prosseguir nesta área de estudo prende-se ainda com a intenção de contribuir para o aprofundamento e domínio de técnicas e metodologias de investigação e valorização do conhecimento científico.

Por último, acredita-se que o conteúdo deste trabalho acrescenta valor ao meio científico e profissional na área da manutenção em geral e no contexto dos edifícios em particular. As matérias abordadas e as metodologias desenvolvidas podem constituir elementos de estudo para alunos do ensino superior, uma vez que introduzem novos conceitos, até ao momento não explorados na área da manutenção.

1.4. Estrutura da Dissertação

A estrutura e a conceção deste trabalho escrito atendem aos objetivos propostos e seguem uma organização sequencial de matérias, atualmente de relevo no âmbito da manutenção em edifícios e de consolidação do conceito de Gestão de Ativos Físicos. Esta dissertação encontra-se estruturada em oito capítulos e quatro anexos.

No presente capítulo (Capítulo 1), é feita uma apresentação ao tema da investigação e abordado genericamente o trabalho desenvolvido. São, portanto, apresentados o âmbito, os objetivos, a motivação para o trabalho desenvolvido e a própria estrutura da dissertação.

No Capítulo 2 pretende-se introduzir o leitor no contexto do estudo em causa. Julgou-se importante apresentar algumas elucidações ao tema “gestão da manutenção em edifícios”. Assim, são referidas as principais necessidades, objetivos e exigências funcionais que, genericamente, os edifícios modernos requerem face à dimensão tecnológica dos seus ativos físicos e atendendo à utilização ou negócio em que se contextualizam. São também apresentadas algumas linhas orientadoras para a implementação de um sistema de gestão da manutenção nas organizações que detenham património edificado e/ou cujo negócio se relacione com atividades em edifícios. Destacam-se as questões relacionadas com os sistemas de informação da manutenção, a qualidade, o ambiente e a higiene, saúde e segurança. São também focados dois temas importantes da manutenção de um edifício, a eficiência energética e os custos associados à atividade da sua manutenção. Ainda neste capítulo são abordados os objetivos e estratégias da manutenção, bem como o desempenho da sua gestão. Nesta última secção do capítulo é apresentada a problemática da seleção de indicadores de desempenho (KPIs) relevantes para a manutenção. O capítulo termina focando algumas contribuições da literatura que propõem metodologias para a seleção de KPIs e fundamenta, em termos gerais, a necessidade de desenvolver um nova metodologia para esse fim.

O Capítulo 3 é exclusivamente dedicado à definição dos paradigmas LARG (*Lean, Agile, Resilient e Green*), abordando a sua integração na gestão da manutenção de forma inovadora. São expostos os conceitos de cada paradigma e elaborada a modelação da manutenção LARG, dando principal ênfase à sua adequação.

O Capítulo 4 faz a apresentação de conceitos, metodologias e práticas consideradas relevantes para a atividade e gestão da manutenção no âmbito LARG. O capítulo aborda várias matérias para apoio ao processo de manutenção que, uma vez implementadas, podem contribuir na integração dos paradigmas LARG. São, portanto, descritos alguns modelos de apoio à gestão da manutenção já bem conhecidos, tais como o TPM (*Total Productive Maintenance*), RAMS (*Reliability, Availability, Maintainability and Safety*), FMEA (*Failure Mode and Effects Analysis*) e RCM (*Reliability Centred Maintenance*). Neste capítulo é ainda apresentado o BIM (*Building Information Model*) como modelo inovador, integrando informação abrangente para apoio nas práticas e gestão da manutenção de edifícios em adequação com os conceitos LARG. O estudo deste modelo permitiu evidenciar os seus contributos na modelação da gestão da manutenção LARG em edifícios, nomeadamente, em interoperabilidade com os sistemas CMMS (*Computerized Maintenance Management System*).

O Capítulo 5 é dedicado à apresentação de modelos de apoio multicritério à decisão (MCDA) utilizados na metodologia desenvolvida para a seleção de KPIs e no modelo proposto para a avaliação de desempenho da gestão da manutenção LARG. É feito um enquadramento dos conceitos MCDA e apresentam-se os métodos (ELECTRE, AHP e SRF), os procedimentos e as respetivas formulações matemáticas para a compreensão dos processos de decisão. Os elementos apresentados foram recolhidos de publicações científicas e fontes fidedignas, nomeadamente, dos autores e investigadores que desenvolveram os métodos apresentados. São

apresentadas também algumas limitações, assim como, as principais vantagens na utilização dos métodos propostos. No final do capítulo são apontadas algumas ferramentas informáticas (*software*) com a implementação dos métodos utilizados.

No Capítulo 6 apresenta-se a metodologia desenvolvida para a avaliação do desempenho da gestão da manutenção LARG. É inicialmente estabelecida a definição do modelo de avaliação proposto para proporcionar uma visão global do desempenho da gestão da manutenção. Ao longo do restante capítulo são explicadas as etapas e os procedimentos metodológicos que, segundo a estrutura conceitual apresentada, compreende: Definição dos objetivos da manutenção; seleção de KPIs; quantificação dos KPIs; avaliação global LARG; e análise de sensibilidade. São apresentados alguns esquemas de estrutura hierárquica, como guias na condução da metodologia.

A metodologia proposta nesta dissertação é aplicada no Capítulo 7 a um caso de estudo baseado na realidade da gestão da manutenção da estrutura de um importante aeroporto, uma organização com uma grande estrutura de edifícios e uma diversificada gama de ativos físicos. O capítulo demonstra a utilização da metodologia desenvolvida e estabelece a integração dos paradigmas LARG como conceito inovador possível de implementar na gestão da manutenção da organização. O capítulo começa com a apresentação do caso de estudo, descrevendo a organização da manutenção, os edifícios e os principais sistemas e equipamentos da estrutura do aeroporto. São apontados os principais objetivos da gestão da manutenção e através dos métodos ELECTRE são selecionados os KPIs relevantes. A quantificação desses KPIs integrados nas quatro categorias LARG permitiu a avaliação de desempenho da gestão da manutenção para dois anos em estudo. Os resultados da avaliação permitiram a construção de diagramas de contribuições LARG, cuja análise evidenciou, com clareza, os desvios e os melhores desempenhos. A partir da análise dos resultados obtidos foi possível identificar os aspetos da manutenção que, segundo o modelo LARG, requerem mais atenção.

Finalmente, o Capítulo 8 é dedicado às conclusões do trabalho desenvolvido e da aplicabilidade da metodologia proposta nesta dissertação para a avaliação do desempenho da gestão da manutenção LARG. Neste capítulo são ainda apresentadas sugestões para trabalhos futuros.

CAPÍTULO 2

ABORDAGEM À MANUTENÇÃO EM EDIFÍCIOS

2.1. Introdução

Atualmente são poucas as empresas que ainda pensam que “a manutenção é um mal necessário” (Cuignet, 2006). A Manutenção não é um processo menor da empresa, mas antes um processo essencial. Uma organização não deve de modo algum menosprezar a manutenção dos bens em que investiu, sejam eles máquinas ou infraestruturas.

Segundo a norma NP EN 13306 (2007), Manutenção é a combinação de todas as ações técnicas, administrativas e de gestão, durante o ciclo de vida de um bem, destinadas a mantê-lo ou repô-lo num estado em que possa desempenhar a função requerida. A mesma norma refere que a Gestão da Manutenção compreende todas as atividades da gestão que determinam os objetivos, a estratégia e as responsabilidades respeitantes à manutenção, e que os implementam por diversos meios, tais como o planeamento, o controlo e supervisão da manutenção e a melhoria de métodos na organização, incluindo os aspetos económicos.

Pretende-se neste capítulo fazer o enquadramento dos principais conceitos que abrangem a manutenção em edifícios de modo a melhor elucidar sobre o tema da dissertação e a sua aplicabilidade contextual.

A evolução das técnicas de produção dos meios industriais e a importância de responder à pressão competitiva global, procurando aumentos de produtividade e maximização da eficácia total das instalações e dos equipamentos, contribuiu para a evolução do conceito e de metodologias de manutenção. Todavia, nos dias de hoje, não existe uma tradição afirmada na manutenção em edifícios. Este estado do conhecimento e de atuação não se coaduna com a diversidade e exigências das instalações e equipamentos, nomeadamente de grandes infraestruturas modernas.

A manutenção de ativos físicos em edifícios não é muito diferente da manutenção industrial, porém, a especificidade das suas instalações e a natureza dos seus ativos têm particularidades técnicas que requerem atenções distintas. Atualmente, a manutenção em edifícios e grandes estruturas exige uma manutenção planeada para atender à complexidade tecnológica, às exigências da legislação, aos padrões de conforto requeridos pela sociedade moderna, aos requisitos da qualidade dos serviços que prestam, às questões ambientais, à competitividade dos mercados atuais e fundamentalmente, exige uma gestão otimizada das suas atividades alinhada com os objetivos da organização na criação de valor e redução dos custos.

A gestão da manutenção em edifícios tem que ser globalmente reconhecida como uma atividade-chave da sua exploração técnica e económica com influência decisiva na sua rentabilidade (Cabral, 2009).

2.2. Manutenção em Edifícios

Todos nós somos frequentadores de edifícios e utilizadores diários dos sistemas e equipamentos neles instalados.

O aumento da população e o tamanho físico das cidades criou a necessidade de se estar próximo, nomeadamente, do trabalho, da escola, do hospital e do lazer, evitando grandes deslocações, contribuindo assim para o aumento da dimensão e verticalidade das edificações, dos centros urbanos e comerciais.

Visto que a construção de um edifício é um grande investimento, seja para famílias ou para empresas, surge a necessidade de preservá-lo, não só pelas condições de conforto, de funcionalidade, mas como investimento patrimonial.

A necessidade de atuações de manutenção é inerente a qualquer edifício. Existem diversos tipos de edifícios com diferentes tipos de utilização. Neste contexto, podem destacar-se alguns exemplos na figura abaixo (Figura 2.1).



Figura 2.1 - Tipos de edifícios e tipos de utilização
Fonte: Gonçalves (2008)

Sendo um edifício uma construção resultante de projeto específico, com utilização definida, dotado de instalações e equipamentos, constituindo unidade autónoma, a sua manutenção é uma atividade de enorme relevo e importância.

Os edifícios são, cada vez mais, dotados de um grande número de equipamentos, que devem funcionar sempre que solicitados e sem interrupções, com o intuito de proporcionar conforto e melhor qualidade de vida.

Qualquer equipamento, sistema ou instalação está sempre sujeito a um processo progressivo de degradação, em consequência da sua utilização ou até por causas fortuitas. Isto requer que sejam efetuadas reparações, correções de defeitos, substituições de órgãos, lubrificações, limpezas, pinturas, inspeções, rotinas preventivas, etc., para reposição dos níveis de operacionalidade.

Na Figura 2.2 são apresentados alguns exemplos de instalações técnicas em edifícios.

Redes de Fluidos: <ul style="list-style-type: none"> • água fria; • água quente / vapor; • águas pluviais; • esgotos; • gás; • ar comprimido; • incêndios; 	Comunicação: <ul style="list-style-type: none"> • telefones; • dados; • TV/Vídeo e rádio; • sistema de som; • sinalização visual; • audiovisuais; 	Segurança: <ul style="list-style-type: none"> • incêndios; • vídeo vigilância; • alarme; • iluminação de emergência; • sonorização de segurança; 	Arquitetura e Estrutura: <ul style="list-style-type: none"> • estrutura; • fachadas; • paredes; • coberturas; • revestimentos; • Interiores;
Elétricas: <ul style="list-style-type: none"> • distribuição de energia; • produção de energia; • iluminação; • proteção; 	Mecânicas: <ul style="list-style-type: none"> • elevadores; • monta-cargas; • escadas-rolantes; • portões e portas automáticas; 	Climatização: <ul style="list-style-type: none"> • ar-condicionado; • ventilação/exaustão; • tratamento de ar; • câmaras frigoríficas; • aquecimento; • humedificação. 	Equipamentos: <ul style="list-style-type: none"> • relativos às instalações; • uso específico; • mobiliário; • cozinhas e lavandarias; • ferramentas da manutenção.

Figura 2.2 – Instalações e equipamentos em edifícios
Fonte: Gonçalves (2008)

Atualmente, muita legislação e normas impõem princípios e regras de funcionamento de equipamentos em edifícios com a finalidade de assegurar o conforto, a segurança e a higiene para os seus utilizadores. Por outro lado, a preocupação crescente com o ambiente, o reconhecimento da importância do uso de energias renováveis e o seu impacto na atual economia, veio ampliar a diversidade de especialidades de atuação da manutenção nas instalações e equipamentos em edifícios. É de primordial importância, a integração da dimensão técnica com a dimensão económica, procurando uma boa gestão dos ativos físicos e eficiência na utilização dos recursos (pessoas, materiais, dinheiro e tempo).

Assim, a manutenção em edifícios engloba todas as atividades necessárias para o perfeito e contínuo funcionamento dos seus equipamentos e instalações, com segurança, higiene, conforto e baixo custo.

Kwon *et al.* (2011) são da opinião que a gestão da manutenção desempenha um papel importante no ambiente interno dos edifícios e sugere a forma pelas quais estes serviços podem ser

otimizados para a satisfação dos seus ocupantes e utentes. É ainda referido por Kwon *et al.* (2011), que a gestão da manutenção das organizações tem a obrigação de prestar serviços de qualidade aos ocupantes dos edifícios. O conforto e a satisfação dos ocupantes estão diretamente relacionados com a qualidade do serviço prestado pela entidade de gestão da manutenção de um edifício. Portanto, a ênfase será sobre as consequências do planeamento estratégico sobre como melhor gerir a manutenção dos edifícios, a fim de melhorar as condições para os ocupantes e utilizadores.

A manutenção em edifícios não atingiu ainda um patamar equivalente ao que se encontra na manutenção industrial, assistindo-se ainda hoje à adoção dos mesmos conceitos para a manutenção das edificações. Contudo, julga-se necessário criar modelos mais ajustados à gestão da manutenção de equipamentos e instalações em edifícios.

As organizações gestoras de edifícios, e particularmente as entidades gestoras da manutenção, necessitam de modelos e metodologias que permitam bons desempenhos na abrangência de aspetos atualmente essenciais no âmbito de atuação da manutenção.

Nos próximos capítulos da presente dissertação desenvolve-se um modelo (LARG) que integra os paradigmas *Lean, Agile, Resilient e Green* na interpretação de aspetos relevantes da gestão da manutenção de ativos físicos, nomeadamente em edifícios. O conceito do modelo LARG pretende contribuir para um melhor desempenho da gestão das atividades da manutenção para atingir os objetivos de negócio das organizações.

2.3. Manutenção em Edifícios, Necessidades e Objetivos

Como já referido, a manutenção em edifícios foi durante muito tempo pouco considerada, contudo, hoje a quantidade e a diversidade de imóveis atingiu um número tal que é relevante cuidar da conservação desse património. Por outro lado, a legislação e normas atuais impõem princípios e regras de funcionamento de equipamentos em edifícios com a finalidade de assegurar o conforto, a segurança e a higiene para os seus utilizadores. Em Cabral (2009), é referido que a recente legislação reconhece a importância crescente de uma boa gestão dos capitais fixos das empresas e cada vez mais dá um contributo importante para a integração da dimensão económica, juntamente com a dimensão técnica. O grande objetivo deixa assim de ser apenas a eficácia técnica, mas também eficiência da utilização dos recursos (pessoas, materiais, dinheiro e tempo). A legislação atual exige que os edifícios sejam objeto de planeamento da sua manutenção.

Por ser uma atividade relativamente “nova”, a manutenção em edifícios, não atingiu ainda o patamar em que se encontra a manutenção em geral. Daí a tentativa de adaptar os conceitos propostos para a indústria da produção, na manutenção em edifícios. Contudo, a gestão da manutenção tem um conjunto de regras e conceitos que são linearmente aplicáveis a qualquer tipo de organização, variando apenas as particularidades do parque objeto de manutenção, as pessoas, a cultura da organização e a envolvente de exigência social. Cabral (2009) argumenta que a gestão da manutenção em edifícios utiliza exatamente os mesmos conceitos e metodologias

de qualquer gestão da manutenção, contemplando algumas particularidades decorrentes da natureza técnica dos seus equipamentos e exigências legais.

A gestão da manutenção em edifícios deverá alcançar a totalidade do parque de equipamentos e infraestruturas civis, cobrindo todos os seus aspetos técnicos, regulamentares e de segurança (Cabral, 2009). As regras a respeitar e os cuidados a ter na utilização, manutenção e segurança dos edifícios devem abranger as instalações, infraestruturas e equipamentos que lhes dão funcionalidade.

Atualmente, os responsáveis da manutenção em edifícios têm a seu cargo uma gestão técnica muito abrangente relacionada com todos os aspetos do edifício. Podem-se enumerar alguns desses aspetos técnicos dos edifícios, tais como os intrínsecos ao seu equipamento e instalações, as exigências de segurança, de equipamentos particulares à atividade do edifício, os requisitos funcionais específicos, as exigências legais, entre outros.

É de referir que as boas condições de utilização dos edifícios contribuem também para a manutenção do nível aceitável de desempenho das instalações, infraestruturas e equipamentos, traduzidas ao longo da sua “vida útil esperada” na preservação da sua integridade e durabilidade.

Vários autores mencionam que a manutenção deve ser um conjunto de ações que permitam manter ou restabelecer um bem a um estado específico, ou ainda, assegurar um determinado serviço. O bom estado de manutenção do edifício e de todos os seus equipamentos e sistemas, com as suas instalações em condições de conforto, segurança e higiene, contribui significativamente para um funcionamento de excelência e fator determinante na melhoria da qualidade do serviço prestado pelo mesmo.

Levitt (1997) refere que, mais do que em qualquer outro “tipo” de manutenção, na manutenção em edifícios é necessário decidir e aplicar elevado nível de qualidade. Essas decisões são relacionadas com o cliente e com a atividade do edifício. Dever-se-ão tomar as decisões apropriadas ao nível do serviço e da reabilitação que se pretende apresentar ao cliente, ao edifício e ao local.

Atualmente, a finalidade da manutenção não é apenas reparar, nem agir antes da falha, mas atuar de forma que nenhuma falha ocorra, no período em que o sistema foi programado para funcionar. Também na gestão da manutenção em edifícios, é hoje, exigido a máxima eficiência e eficácias de todos os seus sistemas. Neste sentido os conceitos da Manutenção Produtiva Total (TPM - *Total Productive Maintenance*) podem ser também adotados e adaptados na gestão da manutenção em edifícios. Tal como supracitado relativamente à manutenção industrial, também para a manutenção em edifícios, a implementação de metodologia TPM poderá, de uma forma global, contribuir para a maximização da eficácia das instalações e equipamentos dos edifícios, e revelar-se eficaz no contínuo melhoramento da qualidade do serviço prestado de forma notável.

No contexto da gestão da manutenção em edifícios, Gonçalves e Mortal (2005), sugerem a adaptação e implementação de práticas e conceitos TPM à indústria hoteleira, com o objetivo da melhoria contínua. A eficácia da manutenção numa unidade hoteleira será mais consistente se for

conjugada com outros intervenientes da empresa, nomeadamente com a gestão de topo e com todos os que estão diretamente relacionados com o cliente (Gonçalves e Mortal, 2005).

Também Bezerra e Tubino (2000) apontam o TPM como o caminho para se obter as melhores condições de segurança, higiene e fiabilidade na manutenção predial. Referem ainda que os conceitos TPM devem ser adotados e adaptados para as práticas desenvolvidas nos condomínios comerciais e residenciais, em conformidade com as filosofias JIT (*Just-In-Time*) e TQM (*Total Quality Manufacturing*), visando a melhoria da qualidade de vida e redução de custos para os seus residentes ou utentes (clientes). Os supracitados autores traçam alguns passos que consideram fundamentais para a implementação do TPM em edifícios.

Subjacente está também a melhoria e o aumento da produtividade do “serviço” prestado pelo edifício, em consequência de este ser uma parte necessária e de importância vital dos negócios de muitas organizações.

É necessário ter consciência da globalização da economia, que derrubou as fronteiras físicas e de mercado altamente competitivo, que a cada dia produz inovação e usa a qualidade como forma de conquistar e manter o consumidor, que exige cada vez mais e o melhor pelo menor custo.

Em suma, podem ser adotadas práticas de gestão da manutenção em edifícios comerciais ou residenciais, com base em conceitos TPM, visando a melhoria da qualidade de vida e a redução de custos. Cuignet (2006) alega que atingir a excelência da manutenção permite, naturalmente, diminuir os custos de manutenção, mas sobretudo, a toda a empresa, alcançar a excelência.

Urge que se capacitem técnicas e metodologias de manutenção que otimizem e maximizem a eficácia dos equipamentos, das instalações e das equipas de manutenção para agir de modo proativo.

2.4. Exigências Funcionais dos Edifícios

A construção é uma atividade ligada inseparavelmente às necessidades humanas. Por sua vez, a construção de um edifício tem de responder a um conjunto de exigências, necessidades, regras, ditadas pela circunstância da sua localização e dos utentes, de acordo com determinados níveis de satisfação pré-definidos.

A construção de um edifício é geralmente considerada como um investimento suscetível de gerar ganhos quer sejam financeiros, de bem-estar ou ainda de estatuto social. Assim, de modo a que se possa usufruir desses ganhos, é necessário considerar os custos associados à sua exploração, por exemplo, associados à manutenção, que adiem a obsolescência técnica e funcional dos seus componentes e sistemas.

Rocha (2005) considera que os arquitetos e as equipas projetistas dos edifícios têm uma importância capital na escolha adequada dos materiais e das soluções construtivas em termos de durabilidade e funcionalidades, assim como na previsão de acessibilidades, em condições de segurança, para a execução das operações a implementar durante a vida útil dos edifícios.

Segundo o Regulamento (UE) n.º 305/2011 de 9 de março de 2011 (revogou a Diretiva 89/106/CEE de 21 de Dezembro), são sete as exigências essenciais que os edifícios devem satisfazer: a resistência mecânica e estabilidade; a segurança contra o risco de incêndio; a higiene, saúde e ambiente; a segurança e acessibilidade na utilização; a proteção contra o ruído; a economia de energia e isolamento térmico; e a utilização sustentável dos recursos naturais. Neste regulamento é referido que os edifícios devem, no seu todo e nas partes separadas de que se compõem, estar aptos para o uso a que se destinam, tendo em conta a saúde e a segurança das pessoas envolvidas durante todo o ciclo de vida. Os edifícios devem satisfazer, em condições normais de manutenção, os requisitos básicos durante o período de vida útil economicamente razoável.

Rocha (2005), na sua investigação (Metodologias de conceção arquitetónica com base na perspetiva da manutenção), estabelece as seguintes denominações relativas às exigências funcionais dos edifícios que devem ser garantidas, ao nível do projeto, construção e utilização:

- Segurança - todas as condições de segurança e proteção da vida dos seus utentes e a sua integridade física;
- Conforto - todas as condições de habitabilidade e exigências primárias de vida dos utentes;
- Adaptabilidade - todas as condições de flexibilidade e ajustamento dos elementos do sistema construtivo e respetivos espaços do edifício à vida dos utentes;
- Perceção - todos os aspetos que possam ser quantificáveis na organização do espaço;
- Durabilidade - todas as condições que permitam que os diferentes elementos do sistema construtivo possam desempenhar durante o período de vida útil, as funções para as quais foram projetados;
- Economia - todas as condições de viabilidade dos custos inerentes do uso por parte dos utentes.

A gestão de edifícios desempenha cada vez mais um papel importante, pois tem como principal objetivo, caracterizar todo o conjunto de ações, procedimentos, que são necessários afetar a um edifício após a sua construção, de forma a otimizar o seu desempenho.

Embora o nível mínimo de qualidade dependa das exigências iniciais definidas no projeto, é um parâmetro importante na contabilização de custos durante a utilização do edifício. Um nível mínimo de qualidade mais exigente corresponde, necessariamente, a maiores encargos de manutenção. Assim, interessa encontrar em simultâneo, um nível que satisfaça às exigências dos utentes e a otimização dos custos.

Rocha (2005) aponta algumas das principais causas fundamentais da falta de qualidade dos edifícios. Atualmente, os motivos da existência de problemas na construção de edifícios, devem-se essencialmente à falta de otimização do conhecimento, à falta de informação técnica cuidada, à

aplicação de novos materiais sem um estudo aprofundado sobre as respectivas especificações técnicas e sua durabilidade e manutenção, e à rapidez de execução dos projetos exigida às equipas projetistas.

Visando a satisfação das exigências funcionais dos edifícios, importa referir a importância da sua manutibilidade e de todos os seus equipamentos e sistemas, ou seja, a capacidade destes receberem manutenção. Relacionado com a manutibilidade dos edifícios está tudo o que poderá influenciar a sua aptidão para receber manutenção (facilidade de acesso, condições de segurança, precisão, economia). A manutibilidade está também relacionada com a rapidez e facilidade com que as intervenções de manutenção podem ser realizadas.

Dessouky *et al.* (2002) apresentam uma metodologia baseada num modelo de simulação e desenhos de experiência (Taguchi), com o objetivo de minimizar os custos de manutenção em edifícios, integrando políticas de manutenção no processo de projeto e construção do edifício. Esta metodologia identifica os requisitos de qualidade para a manutenção a integrar nas fases de projeto e de construção com a intenção de minimizar os custos de manutenção ao longo da vida útil do edifício. Com esta metodologia, Dessouky *et al.* (2002) admitem conseguirem-se edifícios de fácil manutenção, isto é, de elevada manutibilidade.

A relação entre os utilizadores dos edifícios e o desempenho das suas instalações, está a tornar-se cada vez mais importante. Segundo Lee e Scott (2009), atualmente existem algumas dificuldades em gerir as estratégias de manutenção nos edifícios, pois, tanto os utentes como a gestão de topo das organizações gestoras dos edifícios, têm altas expectativas no seu desempenho.

Para Lee e Scott (2009) existem quatro principais aspetos que são essenciais no processo operacional da gestão da manutenção em edifícios. São as políticas e estratégias da manutenção, a gestão estratégica da manutenção do edifício, o impacto da gestão da instalação na manutenção do edifício e o desempenho da gestão do edifício.

Lee e Scott (2009) apontam que a gestão dos processos operacionais da manutenção nos edifícios é fundamental para proporcionar um melhor ambiente para os clientes e utilizadores dos edifícios.

No âmbito dos edifícios e instalações prediais, a importância da manutenção também deve ser encarada como um fator de diferenciação nos serviços prestados, pois uma paralisação ou falha nas instalações tem efeito direto na imagem da empresa. Em Linzmayer (2004) é referido que a falta de manutenção gera transtornos, prejuízos e problemas graves que poderiam ser evitados, ou minimizados, com um programa de gestão da manutenção eficiente e desenhado para prevenir avarias, desgastes e acidentes. Também a falta de planeamento estratégico e tático da manutenção, pode comprometer aspetos comerciais, operacionais ou funcionais, na eventualidade de desviar recursos financeiros, humanos e materiais para sarar problemas urgentes que deveriam ser tratados como atuações preventivas, adaptações ou melhorias programadas. Os edifícios compreendem serviços específicos que podem ou não ser diretamente percebidos pelos

clientes e/ou pelos seus utilizadores. Contudo, há também serviços perceptíveis diretamente apenas pelos funcionários, fornecedores ou colaboradores de setores internos. Com um correto planeamento da manutenção, as atividades podem tornar-se ocultas ou dissimuladas tanto para os clientes como para a maioria dos funcionários internos.

A qualidade dos serviços prestados e dos produtos oferecidos aos clientes é um dos principais fatores para o desempenho e sobrevivência de uma organização. Linzmayer (2004) diz existir uma tendência mundial no sentido de atender, plenamente (e até superar), as expectativas dos consumidores e clientes em relação à qualidade, nomeadamente, utilizando fatores diferenciais e decisivos na conquista e permanência no mercado. Este autor refere ser necessário que a manutenção se envolva também com a satisfação e a segurança dos utilizadores e frequentadores dos serviços, que afetam diretamente a imagem da empresa.

2.5. Dimensão Tecnológica dos Edifícios

Como é evidente, as exigências de manutenção diferem consoante a dimensão tecnológica dos edifícios. A gestão da manutenção em edifícios, à semelhança da praticada nos sistemas industriais, está sempre associada à dimensão tecnológica das instalações em causa, pois quanto maiores e mais complexas, mais monitorização, rotinas, atuações e “cuidados” os serviços de manutenção têm a seu cargo. Por outro lado, também a diversidade da natureza técnica dos seus equipamentos contribui para o incremento da dimensão tecnológica.

Um exemplo desta realidade é a distinção entre as exigências de manutenção em edifícios com diferentes tipos de utilização. Um hotel não se assemelha a um centro comercial, um hospital possui uma estrutura técnica completamente díspar de um aeroporto, em edifícios de habitação e edifícios de escritórios predominam certamente o regime *outsourcing* para os serviços de manutenção.

Em termos de estrutura dos edifícios, a dimensão na sua verticalidade ou horizontalidade, também condiciona a manutenção e o modo da sua atuação. Não só devido às diferentes características técnicas e dimensionais dos equipamentos e sistemas intrínsecos aos edifícios, como também pelas ferramentas, técnicas, tempos de operação e custos da manutenção.

Os edifícios modernos, “apetrechados” de tecnologias a conferir conforto por excelência, requerem inequivocamente equipas especializadas de manutenção aos distintos sistemas instalados, como forma de garantir a disponibilidade e eficiência dos mesmos. Em oposto, nos edifícios mais antigos e cuja adequação às tecnologias modernas não se vislumbra viável, técnica e financeiramente, ainda que não obsoletos, é-lhes praticada manutenção recorrendo a equipas polivalentes.

Com a crescente dimensão tecnológica das instalações dos edifícios, tanto pela diversidade como pela sua complexidade, cada vez mais dependem de manutenção especializada. Na sua maioria, essa manutenção é do domínio específico de empresas prestadoras de serviços especializados de manutenção, prestada em regime de contrato, forma de ação em geral designada por *outsourcing*.

Craveiro (2005) afirma que na manutenção, o *outsourcing* tem vindo a ganhar cada vez mais importância, embora o seu foco se tenha vindo a desviar da área industrial, pois a área dos edifícios e dos serviços representam cada vez mais uma parcela significativa das atividades das empresas de *outsourcing* de manutenção.

Bezerra e Tubino (2000) também constatam que há uma forte tendência para a contratação dos serviços de manutenção, tanto na indústria, como a nível das edificações. Cada vez mais, nas empresas contratantes, o quadro de pessoal afeto aos serviços de manutenção é reduzido, composto de pessoal de inspeção, de atuações básicas de rotina e uma forte estrutura de gestão e planeamento.

Para os edifícios habitacionais, de pequena ou média dimensão, oferecerem as melhores condições de habitabilidade e uso, devem ter uma gestão eficaz e eficiente. Bezerra e Tubino (2000) salientam que isso exige disponibilidade de tempo e conhecimentos técnicos e administrativos, que os condóminos, normalmente não têm. A solução é a contratação de empresas gestoras de condomínios e de manutenção dos edifícios, dos seus equipamentos e instalações. Contudo, estes autores salientam ainda que cabe aos proprietários ou à administração do condomínio a tarefa de supervisionar os custos e avaliar os resultados.

Bezerra e Tubino (2000) ressaltam que em determinado tipo de edifícios, como no caso de hospitais, que têm uma estrutura administrativa própria voltada para o seu próprio negócio (que jamais pode falhar), é preferível a contratação da manutenção para se poder concentrar no seu próprio foco com qualidade, a saúde.

Deter uma equipa própria de manutenção pode apresentar vantagens e desvantagens. Bezerra e Tubino (2000) mencionam que uma equipa própria está permanentemente disponível e tem o conhecimento total do edifício e das pessoas, pode ser formada para exercer várias funções, contudo, tem maior ociosidade, oferece pouca especialização, obriga a manter um grande número de pessoas para atender a todas as necessidades e representa elevados custos fixos. Recorrendo à contratação de serviços de manutenção, Bezerra e Tubino (2000) referem que essas equipas oferecem maior especialização e atualizada, mais eficiência e eficácia, maior variedade, menor burocracia, menor custo e transferência de responsabilidades (técnicas, administrativas e legais), porém, o pessoal contratado é desconhecido ao edifício e às pessoas que o usam e pode não ter disponibilidade imediata e permanente.

Atualmente os edifícios são mais complexos. Grilo e Tavares (2008) explicam que ao longo dos últimos séculos, a conceção, a contratação, o projeto, a gestão e a execução dos empreendimentos aumentou significativamente. Para estes autores, o acréscimo da complexidade é devido ao aumento da dimensão, da diversidade morfológica e funcional dos empreendimentos, incorporação de múltiplas redes tecnológicas de distribuição e de comunicação, da variedade de materiais e componentes, para além das exigências legais, normativas e processuais.

Esta complexidade pode ser, de certa forma, dominada e agilizada com a utilização das TIC (Tecnologias de Informação e Comunicação) ao longo do ciclo de vida os edifícios, no âmbito do projeto, da construção, da operação e da manutenção.

2.6. Sistemas de Gestão da Manutenção

A globalização e o contexto de competitividade nos mercados atuais lançam um desafio cada vez mais exigente e real para as organizações (NP 4483, 2009).

No contexto dos edifícios é requerida a qualidade dos seus serviços, cuja cadeia de valor assenta fundamentalmente sobre o conjunto de ativos físicos que compõem as suas instalações. Segundo a norma NP 4483 (2009), a manutenção tem um papel fulcral no sucesso das organizações, capacitando os ativos para o desempenho ao nível que lhes é exigido. Esta norma refere que as organizações devem estabelecer, documentar, implementar e manter um sistema de gestão da manutenção e melhorar continuamente a sua eficácia. Nomeadamente, de acordo com requisitos apresentados pela própria norma.

Em género de comparação, Cabral (2009) refere que, implementar um sistema de gestão da manutenção requer, como primeira etapa, organizar, no sentido de estabelecer as bases sólidas, tal como as fundações de um edifício necessárias para iniciar a sua construção.

2.6.1. Estrutura organizacional, funções e planeamento

A estrutura organizacional do departamento de manutenção de uma empresa depende das suas características específicas e dimensão. A estrutura de um departamento de manutenção é normalmente exibida na forma de um organograma, onde se especificam as várias funções de forma hierárquica, enquadrando todos os colaboradores que intervêm na manutenção (Cabral, 2009). A Figura 2.3 apresenta um possível organograma de um departamento incumbido da manutenção de um edifício ou infraestrutura, cuja dimensão e/ou complexidade das instalações justifiquem a necessidade de atenções constantes.

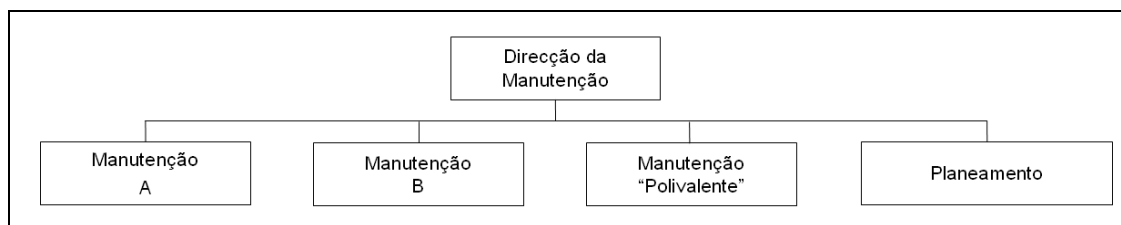


Figura 2.3 – Exemplo de estrutura organizacional do departamento de manutenção

A direcção da manutenção tem a responsabilidade de definir os objetivos, estabelecer as estratégias e gerir as atividades da manutenção.

A gestão de topo deve assegurar que os objetivos da manutenção, incluindo os necessários para atingir as metas do negócio, são estabelecidos e proporcionam a melhoria contínua dos serviços da organização. Os objetivos da manutenção devem ser mensuráveis e consistentes com a política da manutenção (NP 4483, 2009). De entre o conjunto de objetivos da manutenção, Cabral (2009) menciona que, o gestor tem que eleger quais serão aqueles que serão alvo de gestão, em relação aos quais se farão planos, ordens de trabalho, se acumularão custos e histórico e sobre os quais incidirão as análises.

As funções de direção e planeamento, normalmente desenvolvidas, direta ou indiretamente pelo departamento da manutenção são:

- Planeamento da manutenção e operação;
- Programação da manutenção;
- Gestão da manutenção;
- Gestão patrimonial;
- Compras técnicas e contratações;
- Gestão de materiais de manutenção;
- Gestão de energia;
- Logística;
- Formação.

Os serviços normalmente executados, direta ou indiretamente pelo departamento da manutenção de uma organização são:

- Construção e pinturas;
- Eletricidade e eletrónica;
- Mecânica;
- Redes de fluidos, canalizador;
- Carpintarias;
- Serralharia, soldadura;
- Climatização e refrigeração;
- Produção de vapor e água quente;
- Jardinagem e arranjos exteriores;
- Limpezas e higiene.

Relativamente ao planeamento da manutenção em edifícios, a atividade envolve:

- Elaboração de planos, procedimentos e rotinas de manutenção, operação dos equipamentos e das instalações do edifício;
- Gestão dos recursos humanos e materiais para as ações;

- Programação da manutenção com datas estabelecidas para a execução das ações previstas nos planos de manutenção atribuindo tempos, materiais, ferramentas e mão-de-obra;
- Adequar as ações preventivas de manutenção tendo em atenção as taxas de ocupação do edifício e disponibilidade de mão-de-obra;
- Monitorização das ações planeadas e programadas, dos prazos estabelecidos, e da qualidade requerida nas mesmas;
- Preparar para atender pronta e eficazmente às solicitações de ações de manutenção corretiva.

2.6.2. Implementação da manutenção

A implementação de um sistema de manutenção requer uma abordagem ampla a todos os conceitos da manutenção, a conhecimentos técnicos e torna indispensável uma visão abrangente de toda a organização. Algumas das etapas e atividades para a implementação de um sistema de manutenção, podem ser as seguintes:

- Caracterização e conhecimento do edifício;
- Recolha e análise de documentos técnicos;
- Levantamento de instalações e equipamentos por áreas;
- Conhecimento operacional e taxas de ocupação;
- Estruturação operativa, de gestão e de centros de custo;
- Identificar materiais e ferramentas para a manutenção;
- Identificar e analisar necessidades de subcontratação de manutenção;
- Codificação de áreas, instalações e equipamentos;
- Seleção das áreas, instalações e equipamentos prioritário;
- Estabelecer procedimentos operativos de instalações e equipamentos;
- Elaborar e implementar rotinas de inspeção técnica e de manutenção;
- Introduzir ordens de trabalho, histórico e gestão de custos de manutenção preventiva e corretiva;
- Implementação de planos para limpeza, higiene, lubrificação, pintura de áreas, instalações e equipamentos;
- Implementação de planos de manutenção preventiva;
- Delinear procedimentos de manutenção;
- Monitorização e análise das ações planeadas e programadas.

2.6.3. Documentos técnicos para a manutenção

Para uma gestão eficaz deve-se dispor de informação relativa a todos os aspetos da atividade da manutenção. Os documentos técnicos servem não só para a planificação, como também para assistir às tarefas das ações da manutenção.

Documentos técnicos disponíveis a utilizar pela manutenção no decorrer da sua atividade:

- Legislação e normas;
- Projetos de execução do edifício (arquitetura, instalações, térmicos, etc.);
- Projetos de alterações e novas instalações;
- Manuais e memórias descritivas de equipamentos e instalações;
- Plantas, alçados, isométricos, esquemas unifilares, *layout's*, etc.;
- Manuais e fichas técnicas de equipamentos, ferramentas e materiais;
- Especificações técnicas de materiais, procedimentos e ensaios técnicos;
- Folhas de cálculo de dimensionamento e análise;
- Listas de contactos de colaboradores, fornecedores e principais utilizadores do edifício;
- Listagem de *stock's* (materiais, peças, equipamento, redundantes, rotáveis, etc.);
- Orçamentos e composições de preços (materiais e mão-de-obra);
- Contratos de serviços de manutenção e assistência técnica (outros se justificáveis);
- Cronogramas de manutenção e de utilização do edifício;
- Manuais técnicos dos equipamentos (instalação, operação e manutenção);
- Catálogos e tabelas de fabricantes;
- Termos de garantia de trabalhos, instalações, equipamentos e materiais;
- Documentação referente a certificações, autorizações, inspeções, ensaios, testes, etc.;
- Relatórios de consultoria, recomendações, boas práticas, etc.;
- Documentos legalmente autenticados e de justificada importância para a manutenção;
- Manual de manutenção incluindo procedimentos, planos, programas, *check-list's*, fichas de manutenção, etc.;
- Manual da Qualidade;
- Desenhos 3D (edifício, equipamento e peças);
- Fotografias;
- Manuais de formação técnica (manutenção, instalações especiais, emergência, etc.).

A lista apresenta os ingredientes da engenharia da manutenção, na sua maioria indispensáveis, para o apoio às atividades e trabalhos da manutenção em edifícios. Pode ainda ser consultada a norma NP EN 13460 (2009), documentação para a manutenção. Esta norma define o conjunto de documentação que deverá ser fornecida com um bem antes de ser colocado em serviço, para que durante a fase operacional se conheçam as necessidades de manutenção e a documentação técnica de forma a apoiar na sua manutenção.

A extensão da documentação do sistema de gestão da manutenção pode diferir de uma organização para outra devido à dimensão da organização e tipo de atividade, complexidade de processos e suas interações, competências do pessoal e complexidade dos ativos da instalação.

De acordo com a norma NP 4483 (2009), a documentação dos sistemas da manutenção deve incluir:

- Declaração da política e dos objetivos da manutenção;
- Manual de manutenção;
- Procedimentos e registos de todas as atividades da manutenção;
- Documentos, incluindo registos para assegurar o planeamento, operação e controlo dos seus processos de forma eficaz.

A manutenção deve portanto gerir todos os trabalhos da sua atividade. Cabral (2009) realça que todo e qualquer trabalho de manutenção tem que ser suportado numa ordem de trabalho (OT). O autor define OT como o “documento que especifica o trabalho a realizar, descreve as tarefas, a data e/ou registo de funcionamento em que deve ser realizada e, se for planeada, contém previsões do tempo de manutenção e da mobilização de horas de mão-de-obra, podendo conter também o planeamento e a previsão mais detalhada dos recursos humanos a utilizar (mão-de-obra + materiais + serviços de terceiros) e os respetivos custos”.

Uma ordem de trabalho (OT) é um documento base de suporte de qualquer intervenção, planeada ou não planeada, interna ou subcontratada. A programação dos trabalhos planeados pela manutenção deve incidir sobre todos os ativos e com todos os recursos (humanos e materiais) disponíveis para o momento de realização decidido.

Normalmente, a ordem de trabalho é uma folha de papel impressa com as informações necessárias para a intervenção de manutenção, tal como descrito anteriormente. No entanto, com o desenvolvimento verificado das TIC (Tecnologias de Informação e Comunicação), o fluxo de informação do processo de manutenção pode, atualmente, ser estabelecido através de ligações por internet (ou intranet) entre equipamentos informáticos (computadores, *notebooks*, *tablets*). A integração de inovadores sistemas *web* e *software* de gestão da manutenção permitem hoje, aos intervenientes no processo de manutenção (gestores e técnicos), partilhar, consultar e editar toda a informação necessária durante e no local das intervenções de manutenção. Verifica-se que, cada vez mais, esta é uma realidade que torna a folha de papel obsoleta nestas funções. Por outro lado, evidenciam-se vantagens económicas e ambientais, recorrendo a estas tecnologias em detrimento do suporte em papel, nomeadamente, no que se refere às ordens de trabalho e documentação técnica, devido à elevada quantidade de informação normalmente processada.

2.6.4. Sistemas de informação na gestão da manutenção

A organização da manutenção exige um sistema informático da gestão da informação. Pode-se afirmar que as novas tecnologias de informação e *software* de gestão da manutenção, são hoje ferramentas indiscutíveis para apoio à gestão da manutenção.

Para Grilo Tavares (2008), as modernas tecnologias de informação e comunicação e, nomeadamente o BIM (*Bulding Information Model*), permitem estabelecer novos ambientes de cooperação e coordenação: facilitando a representação, a visualização e a simulação a 3D;

incluindo informação relevante e verificação de condições funcionais e normas; e especificação de dados sobre a constituição, modelação, avaliação e gestão do empreendimento.

Esta investigação inclui uma abordagem mais extensa à tecnologia BIM (Capítulo 4). Trata-se de uma metodologia inovadora de gestão da informação no projeto, construção, operação e manutenção em edifícios, ou seja, ao longo do seu ciclo de vida. A metodologia BIM envolve-se em múltiplas especialidades e pode ser implementado em distintos contextos dimensionais de edifícios, desde pequenas moradias, grandes edifícios de escritórios, hospitais, centros comerciais, escolas, hotéis, estádios, aeroportos, entre outros. Esta temática foi alvo de uma pesquisa detalhada, no sentido de apurar contribuições do BIM para a eficiência da gestão da manutenção em edifícios. O objetivo nesta investigação foi dar um especial relevo ao conceito da tecnologia BIM e inferir os benefícios da sua aplicação na gestão da manutenção em edifícios, nomeadamente, evidenciar contributos na modelação da gestão da manutenção considerando os paradigmas *Lean, Agile, Resilient e Green*.

Para a gestão da manutenção existem outras aplicações informáticas que podem constituir ferramentas com alguma evidência, desde que devidamente enquadradas na realidade da organização.

O uso do computador e o desenvolvimento de ferramentas informáticas para a gestão da manutenção desencadeou-se nos finais dos anos 70. Na sua maioria, as aplicações informáticas que muitas organizações utilizavam para a manutenção na década de 1980, dependiam de bases de dados centrais que continham informação relativa às avarias, reparações e atividades da manutenção.

Khosrowshahi e Alani (2011) relatam que o uso de computadores para a gestão da manutenção começou na década de 1970 e, no início de 1980 muitas organizações e departamentos de manutenção usavam sistemas de manutenção baseados em computador, muitos dos quais usando bases de dados com informação de reparações e manutenção.

Um *software* de gestão da manutenção é frequentemente designado pelas siglas CMMS (*Computerized Maintenance Management System*) ou GMAC (Gestão da Manutenção Assistida por Computador).

Este tipo de ferramenta tem vindo a difundir-se nas organizações, e é hoje uma aplicação corrente nas organizações que pretendem ver a sua gestão da manutenção otimizada, nomeadamente em edifícios, onde se evidenciam vantagens significativas. A implementação de sistemas informáticos na gestão da manutenção em edifícios poderá ter um impacto relevante na melhoria dos resultados da gestão, produtividade, eficiência e certificação da organização.

Diversos autores de referência na área da manutenção, apresentam de forma generalizada a utilização de sistemas informáticos como meios de colocar em funcionamento as melhores práticas, ao menor custo. Mas, Barata (2004), refere que um *software* está sujeito ao seu desenvolvimento e implementação, à definição e enquadramento global do sistema de informação.

Gonçalves e Mortal (2005) referem que os sistemas informáticos orientados para o apoio à manutenção de hotéis, à semelhança de sistemas informáticos para a indústria em geral, têm como objetivos a organização e a otimização da manutenção. Consistem no processamento de dados relativos aos equipamentos e instalações, estabelecendo planos sistemáticos para as ações de manutenção preventiva, na emissão de ordens de trabalho, no registo de ocorrência de falhas, na constituição de histórico, entre outros. Estes mesmos autores julgam vantajosas as aplicações de sistemas CMMS que permitam o acesso a registos com os diagnósticos de falhas ocorridas, incluindo as descrições de como as falhas foram identificadas, respetivas causas, recursos utilizados e toda a informação que possa ser considerada útil para assistir as atividades da manutenção.

Um *software* CMMS pode constituir uma ferramenta de apoio a adotar para melhorias práticas na gestão da manutenção em edifícios, no entanto, está sujeito à parametrização e enquadramento global do sistema de informação. Na seleção de um CMMS para edifícios, dever-se-á garantir a sua adequada funcionalidade, face aos requisitos específicos da gestão da manutenção em função do tipo de instalação.

Barata (2004) apresenta seis funções essenciais que um CMMS deverá ter:

- Gestão simples de ordens de trabalho;
- Planeamento;
- Calendarização/agenda;
- Orçamento/custo;
- Gestão de sobressalentes/combustíveis;
- Indicadores de desempenho.

Para Smith e Hawkins (2004), um CMMS pode otimizar os trabalhos e quantificar as necessidades dos sistemas. Perante uma postura TPM (*Total Productive Maintenance*) poder-se-ão substituir predominantes atuações reativas de manutenção corretiva, pelas atuações pró-ativas de manutenção preventiva. Neste contexto, o CMMS proporciona um melhor discernimento dentro da empresa.

De um modo muito generalista, a metodologia e funcionalidades do CMMS deverão sustentar os seguintes objetivos:

- Gestão das atividades de manutenção (preparação, planificação, execução, etc.);
- Gestão de materiais e equipamentos;
- Gestão dos stocks e aprovisionamentos;
- Gestão da subcontratação de trabalhos;
- Gestão económica (ventilação dos custos);
- Gestão dos investimentos;
- Gestão dos meios humanos.

A manutenção necessita de recorrer a documentação variada para gerir as atividades que tem a seu cargo. Por outro lado, necessita da consulta a documentação técnica para obter informações diversas referentes ao edifício, às suas instalações, sistemas e equipamentos, de modo rápido e preciso, no decorrer da sua atividade. Um software CMMS pode constituir um auxiliar precioso, não só, na gestão de dados inseridos no sistema, como também na consulta de documentos digitalizados e possíveis de visualizar, mediante uma pesquisa.

Um *software* CMMS pode também auxiliar a gestão da manutenção no que diz respeito à programação das tarefas com antecedência, no planeamento dos métodos e na garantia dos recursos necessários para as intervenções de manutenção a executar. Na ótica da manutenção preventiva, um CMMS programa as intervenções baseadas no tempo de acordo com o plano de manutenção que contem as atividades de manutenção específicas tendo em conta as características e a disponibilidade do equipamento. O programa e o plano de manutenção determinam a qualidade do trabalho da manutenção. Contudo, também para a manutenção corretiva, o devido planeamento de métodos e procedimentos, a garantia de sobressalentes e ferramentas, são algumas das funções que podem ser assistidas pelos CMMS.

O *software* de gestão da manutenção, cada vez mais, possibilita a avaliação e estimativa de indicadores de desempenho da gestão e eficiência da atuação da própria manutenção e da operação de sistemas e equipamentos.

2.6.5. Manutenção e qualidade

Na integração na legislação portuguesa com normas comunitárias da qualidade e gestão da qualidade, nomeadamente na certificação segundo a norma NP EN ISO 9001:2008 (Sistema de gestão da qualidade), a manutenção em edifícios pode intervir através da:

- Verificação periódica de tolerâncias e folgas de mecanismos suscetíveis de degradação;
- Garantia de boa operação dos mecanismos de regulação e controlo;
- Calibração – confirmação metrológica dos instrumentos de monitorização e medida por comparação com padrões devidamente aferidos;
- Criação de condições ambientais adequadas à boa operação dos equipamentos, boa conservação dos produtos e à minimização das agressividades na prestação de serviços.

A manutenção deve assegurar que os ativos físicos sob a sua responsabilidade, permitem a execução dos processos e prestação dos serviços em conformidade com exigências legais e na satisfação dos clientes, potenciando a melhoria contínua. A qualidade do trabalho demonstrado pela manutenção, na satisfação das expectativas dos clientes potencia a sua fidelização, maior notoriedade da imagem perante o mercado, competitividade e desenvolvimento sustentável.

2.6.6. Manutenção, higiene, saúde e segurança

Compete à manutenção criar condições para a deteção e correção atempada de situações potencialmente violadoras das disposições legais, assim como para uma correta limpeza, temperatura e humidade nos locais de trabalho, de lazer, de habitação, serviços, comércio, entre outros. Nomeadamente, no Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE, Decreto-Lei 79/2006 de 4 de Abril), no seu artigo n.º 19 (Condução e manutenção das instalações), é estabelecido que todos os sistemas energéticos dos edifícios, ou frações autónomas, devem ser mantidos em condições adequadas de operação para garantir o respetivo funcionamento otimizado e permitir alcançar os objetivos pretendidos de conforto ambiental, de QAI (Qualidade do Ar Interior) e de eficiência energética. É estabelecido ainda que todas as instalações e equipamentos objeto deste regulamento devem possuir um Plano de Manutenção Preventiva (PMP), permanentemente atualizado.

Para as equipas da manutenção, os riscos da própria intervenção devem ser previstos e minimizados, incluindo por exemplo os equipamentos de proteção a utilizar, indicação para manipulação e armazenamento de materiais perigosos, características especiais dos equipamentos e ferramentas e, do seu funcionamento.

A norma OHSAS 18000 (2007) – Sistemas de Gestão da Segurança e Saúde no Trabalho, com correspondência a nível nacional através da norma NP 4397 (2008), tem como objetivos a minimização dos riscos para os colaboradores, melhoria do desempenho das organizações em questões de segurança, sendo também um suporte na consolidação de uma imagem de responsabilidade social das organizações. As organizações devem implementar um sistema de gestão da segurança e saúde do trabalho, fundamentalmente, para promover a prevenção e redução de riscos de acidentes e doenças profissionais. Com as medidas implementadas, as organizações podem também beneficiar de melhorias relativas à satisfação e motivação dos colaboradores, pelo facto de reconhecerem a promoção e garantia de um ambiente de trabalho seguro e saudável. A identificação, avaliação e controlo de riscos relacionados com a saúde e segurança no trabalho refletem a preocupação com o bem-estar dos colaboradores, potenciando a sua motivação e identificação com os valores da organização.

2.6.7. Manutenção e ambiente

É normal a manutenção intervir no domínio de legislação aplicável a emissões gasosas, efluentes líquidos ou resíduos, quer as emissões poluentes sejam consequência da degradação ou desafinação das máquinas, quer o sejam pela inadequação dos equipamentos. Exemplos:

- Construção ou ligação a estações de tratamento de águas residuais;
- Estudo, instalação, divulgação e gestão dos processos de recolha e envio para destino adequado dos resíduos poluentes;
- Práticas de manutenção tendentes a reduzirem o risco de fuga de contaminantes e emissões poluentes.

Adicionalmente, a certificação segundo a família de normas NP EN ISO 14000 (2012) e os desenvolvimentos previstos relativos ao protocolo de Quioto (*Kyoto*), induzem a um aumento das atividades relacionadas com o meio ambiente. Nomeadamente, na redução das emissões de CO₂ para a atmosfera e na eliminação de gastos energéticos desnecessário, contribuindo para o acréscimo do nível de eficiência energética das organizações.

2.7. Eficiência Energética

Os edifícios, em face das adversidades climatéricas, são vistos como autênticos “portos de abrigo”. Contudo, também eles sofrem com as condições climatéricas que colocam, muitas vezes, a descoberto carências térmicas que nem sempre permitem aos edifícios responder, da melhor forma, às necessidades de conforto térmico de quem os ocupa. Embora as condições climatéricas em Portugal sejam relativamente favoráveis, a parcela de energia consumida nos edifícios é muito significativa.

A construção de edifícios é um dos setores da economia com grande impacto negativo sobre o ambiente. Porém, maior é ainda o impacto durante a sua exploração ou utilização ao longo do ciclo de vida, sobretudo em termos do consumo de energia. Este impacto é agravado pelas deficiências de origem e pela obsolescência dos edifícios, das suas instalações e sistemas.

Segundo Córias e Fernandes (2007), a situação em Portugal no ano 2003, no que respeita ao contributo dos edifícios para a situação energética, é de 28% da energia final, ou seja, energia total consumida sob a forma de eletricidade, gás natural, combustíveis, entre outros e de 60% de energia elétrica.

Atualmente, o consumo energético apresenta um rápido crescimento devido ao aumento das exigências de conforto por parte dos utentes dos edifícios.

Em Coias e Fernandes (2007) a reabilitação energética de um edifício existente é apontada como uma abordagem inovadora que tem por objetivo melhorar a qualidade térmica e racionalizar a gestão da energia, ou seja, conferir aos edifícios eficiência energética idêntica à de um edifício novo para o mesmo fim.

A eficiência energética de um edifício pode ser conseguida através de várias medidas corretivas, destinadas a corrigir as deficiências apresentadas em termos de desempenho energético. Coias e Fernandes (2007) referem que é necessário caracterizar esse desempenho energético e diagnosticar as respetivas deficiências. Só depois se estabelece a melhor estratégia de intervenção, isto é, aquela que melhor interessa ao dono do edifício, tendo em conta as exigências regulamentares. Neste âmbito, é necessário selecionar, entre as medidas corretivas, aquelas que permitem atingir o objetivo pretendido com o mínimo de custo. Para Coias e Fernandes (2007), as principais medidas para se conseguir a eficiência energética de um edifício são:

- Reforço da proteção térmica das envolventes do edifício (paredes, coberturas, etc.);

- Reforço das propriedades dos vãos envidraçados;
- Recurso a sistemas solares passivos (ventilação natural, sistemas de sombreamento, dispositivos de captação de luz natural, etc.);
- Recurso a sistemas solares ativos (solar térmico, solar fotovoltaico, etc.);
- Adoção de equipamentos e instalações de iluminação de baixo consumo.

Cabe à gestão da manutenção a responsabilidade pela dinamização e verificação das medidas comportamentais de eficiência energética na organização, nomeadamente, na implementação de medidas que promovam a gestão dos consumos de energia, prevenindo-se as adequadas intervenções nas áreas, serviços, equipamentos e sistemas dos edifícios que representem os maiores consumos.

Em Chung e Hui (2009) é apresentado um estudo à eficiência energética num edifício de escritórios em Hong Kong, que apresentava algum declínio. Com base nos resultados obtidos num modelo de regressão desenvolvido para encontrar relação entre diversos fatores que influenciam a eficiência energética em edifícios (de escritórios), foram apontadas algumas soluções (sugestões) tais como, um melhor controlo da iluminação e dos sistemas de climatização.

Atualmente, em Portugal, existem Programas de Eficiência Energética na Administração Pública, regulados por legislação nacional, cujo objetivo central consiste na redução do consumo de energia em edifícios e equipamentos públicos. São assim abrangidos todos os serviços e organismos da Administração direta e indireta do Estado, bem como as empresas públicas, as universidades, as entidades públicas empresariais, as fundações públicas, as associações públicas ou privadas com capital maioritariamente público.

Estes programas dão cumprimento ao disposto no Decreto-Lei n.º 319/2009, de 3 de novembro, que transpõe para o quadro jurídico português a Diretiva n.º 2006/32/CE, de 5 de abril, relativa à eficiência na utilização final de energia e aos serviços energéticos. Esta Diretiva estabelece que os Estados-Membros da União Europeia devem criar condições para a promoção e desenvolvimento de um mercado dos serviços energéticos e para o desenvolvimento de medidas de melhoria da eficiência energética destinadas aos consumidores finais.

Estes programas visam a poupança energética e a redução de emissões de CO₂ para a atmosfera, contribuindo ainda para a consecução do objetivo de acréscimo ao nível de eficiência energética nos serviços e organismos da Administração Pública. Em termos gerais, são um conjunto de medidas de eficiência energética que visam alterar comportamentos e promover uma gestão racional dos serviços energéticos. Porém, a referida legislação cobre todos os edifícios e é aplicável também ao setor privado. As organizações têm a obrigação de estabelecer as estratégias de gestão de energia na adequação com as normas e legislação existentes e, obter a respetiva certificação energética dos edifícios.

Cabe à manutenção a seleção das soluções mais económicas, detetando e corrigindo todas as situações que representem desperdício de energia, como por exemplo:

- Fugas em condutas de vapor, água, ar comprimido, gases e outros fluidos;
- Aquecimento ou climatização inadequados ou desregulados;
- Isolamentos deficientes ou inexistentes;
- Consumos excessivos de combustíveis, energia ou lubrificantes por equipamentos desafinados, com folgas, circuitos com fugas, etc.;
- Outros fatores de desperdício, como: equipamento com baixo rendimento, baixo fator de potência, equipamentos sobredimensionados, cargas variáveis mal aproveitadas, etc.;
- Iluminação desnecessária ou inadequada.

No âmbito destas preocupações, surge a norma NP EN ISO 50001 (2012) para a gestão eficiente da energia, conseqüente minimização no impacto ambiental e relevantes reduções dos custos com os consumos energéticos. A norma define requisitos orientadores para a implementação de um sistema de gestão de energia. O objetivo é a eficiência energética nas organizações, contudo, os benefícios são também para o ambiente.

2.8. Legislação e Normas Aplicáveis

Atualmente existe um conjunto alargado legislativo e normativo que intervêm decisivamente em quase todas as atividades que envolvem a segurança, qualidade, meio ambiente e utilização pública. Cabral (2009) elucida que o objetivo é estabelecer um conjunto de regras e procedimentos que garantam, por um lado, que as atividades são geridas e conduzidas de acordo com as boas práticas técnicas, por outro, que essas práticas são sustentadas por procedimentos, cuja verificação é suscetível de ser realizada de forma objetiva, ou seja, evidenciada e confirmada. A manutenção insere-se nesse conjunto de boas práticas, nomeadamente, para assegurar o serviço requerido pelos ativos físicos em edifícios.

Neste âmbito, apresentam-se na Tabela 2.1 as principais referências que a nível nacional e europeu estabelecem algumas das regras, requisitos e procedimentos para as boas práticas da manutenção em geral e nos edifícios em particular. Assim, para além das normas específicas da manutenção, são apresentadas normas e legislação nacional de diversidade de domínios técnicos (mecânica, eletricidade, construção, segurança, ambiente, combustíveis, etc.), relacionados com os edifícios. Os técnicos e gestores da manutenção em edifícios têm de recorrer, também eles, a um conjunto vastíssimo de normas da engenharia para assegurar uma adequada atuação da manutenção.

Tabela 2.1 – Lista de legislação e normas da manutenção em edifícios

Palavras-Chave	Normas e Diretiva Comunitária	Legislação Nacional	Observações
Urbanização e Edificação		DL n.º 555/1999, 16/12	Regime Jurídico da Urbanização e da Edificação
Urbanização e Edificação		Lei n.º 60/2007, 04/09	Redação do Regime Jurídico da Urbanização e da Edificação
Produtos de construção	Regulamento (UE) n.º 305/2011 de 9 de março de 2011		Estabelece condições harmonizadas para a comercialização dos produtos de construção
Manutenção edifícios	EN 15331 (2011)		Crítérios para a conceção, gestão e controle de serviços de manutenção para edifícios
Máquinas	Diretiva n.º2006/42/CE de 17/05	DL n.º 103/2008, 24/06	Estabelece as regras para a colocação no mercado e a entrada em serviço das máquinas
Acústica	NP EN 20140-2:2008	DL n.º 96/2008, 09/06	Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios
Ventilação	NP EN 12236 (2008) NP EN 12237 (2008)		Ventilação de edifícios, condutas, suportes Sistemas de condutas, resistência, estanquidade
Ventilação		NP 1037 (2008)	Parte 2 - Ventilação e evacuação dos produtos de combustão
Guardas		NP 4491 (2009)	Guardas para edifícios, características dimensionais e métodos de ensaio
Terminologia	NP EN 13306 (2007)		Terminologia da manutenção
Contratos	NP EN 13269 (2007)		Instruções para a preparação de contratos de manutenção
Serviços de manutenção		NP 4492 (2010)	Requisitos para a prestação de serviços da manutenção
Documentos	EN 13460 (2006)		Documentos de manutenção (presentes num sistema de gestão da manutenção)
KPIs	NP EN 15341 (2009)		Indicadores de Desempenho de Manutenção (KPIs)
Implementação da Gestão da Manutenção		NP 4483 (2009)	Sistema de gestão da manutenção. Requisitos para a implementação do sistema de gestão da manutenção.
Elevadores	NP EN 13015 – A1 (2004) (NP EN 13015 : 2001+A1)		Manutenção de elevadores e de escadas mecânicas. Regras para as instruções de manutenção.
Incêndios Extintores		NP 4413 (2006)	Segurança contra incêndios. Manutenção de extintores.
Incêndios		NP EN 671 (2005)	Instalações fixas de combates a incêndios. Sistemas armados com mangueiras - Parte 3: Manutenção das bocas.
Incêndios		DL n.º 220/2008, 12/11	Regime Jurídico de Segurança Contra Incêndios em Edifícios
Incêndios		Portaria n.º 1532/2008, 29/12	Regulamento Técnico de Segurança Contra Incêndios em Edifícios
Incêndios		Portaria n.º 1074/2009, 15/01	Crítérios Técnicos para a Determinação da Densidade de Carga de Incêndio Modificada
Jogos e Recreios	NP EN 1176 (2010)		Equipamentos para espaços de jogos e recreios. Parte 7: Guia de instalação, inspeção e manutenção.
Qualidade	NP EN ISO 9001 (2008)		Sistema de Gestão da Qualidade - Requisitos
Segurança no trabalho	Diretiva Equipamentos de Trabalho - Diretiva n.º 2001/45/CE – de 27/06	DL n.º 50/2005 de 25/02	Prescrições mínimas de segurança e de saúde para a utilização pelos trabalhadores de equipamentos de trabalho
Segurança no trabalho	OHSAS 18000 (2007)	NP 4397 (2008)	Sistemas de Gestão da Segurança e Saúde no Trabalho
Ambiente	NP EN ISO 14000 (2012)		Sistema de gestão ambiental
Eficiência Energética	Diretiva n.º 2006/32/CE - de 05/04	DL n.º 319/2009, 3/11	Eficiência na utilização final da energia e dos serviços energéticos
Eficiência Energética	NP EN ISO 50001 (2012)		Sistemas de gestão de energia – requisitos e orientações para utilização
SCE QAI		DL n.º 78/2006, 04/04	SCE (Sistema de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior)
RSECE	Desempenho Energético nos Edifícios – Diretiva n.º 2002/91/CE	DL n.º 79/2006, 04/04	RSECE (Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios) (Transp. diretiva 2002/91/CE)
RCCTE		DL n.º 80/2006, 04/04	RCCTE (Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios)
SCE QAI		Portaria n.º 461/2007, 05/06	Calendarização da aplicação do Sist. de Cert. Energética e da Qualidade do Ar Interior (SCE) aos vários tipos de edifícios.

2.9. Custos de manutenção

Com a competitividade e a fragilidade na economia dos tempos atuais, as empresas encontram sérias dificuldades em permanecer no mercado. Nesta situação, é indispensável que os gestores adotem um controlo rigoroso dos custos do processo de manutenção, nomeadamente, analisando os desperdícios, excessos de consumos, eventuais ineficiências energéticas, análise dos preços de fornecedores de peças e serviços e de uma forma geral na eliminação de excessos de outros aspetos de responsabilidade atribuída à manutenção. Uma forma de obter o controlo é utilizar indicadores de desempenho.

Hoje, mais do que nunca, um edifício é considerado como um investimento, sendo por isso importante definir, não só, quais os custos de construção, mas também os decorrentes da utilização ao longo da sua vida útil. Neste sentido Rocha (2005) considera que, um edifício deve ser avaliado pelo seu custo global. Os custos com a manutenção têm um peso importante, para se estimar o referido custo global.

Os custos da manutenção, assim como os custos de equipamentos e da não-manutenção, são significativos no orçamento de qualquer organização. Os custos diretos (contabilísticos) da manutenção distribuem-se da seguinte forma:

- Mão-de-obra: esforço de HH (Homem. Hora) x respetivo custo padrão;
- Material: custo das peças, materiais, consumíveis, etc.;
- Serviços: custo dos serviços fornecidos por terceiros, incluindo contratos de manutenção.

De uma forma muito clássica é apresentada a Figura 2.4 (iceberg de custos), que de um modo geral, diversos autores a apresentam ilustrando de forma compreensiva a problemática dos custos da manutenção.

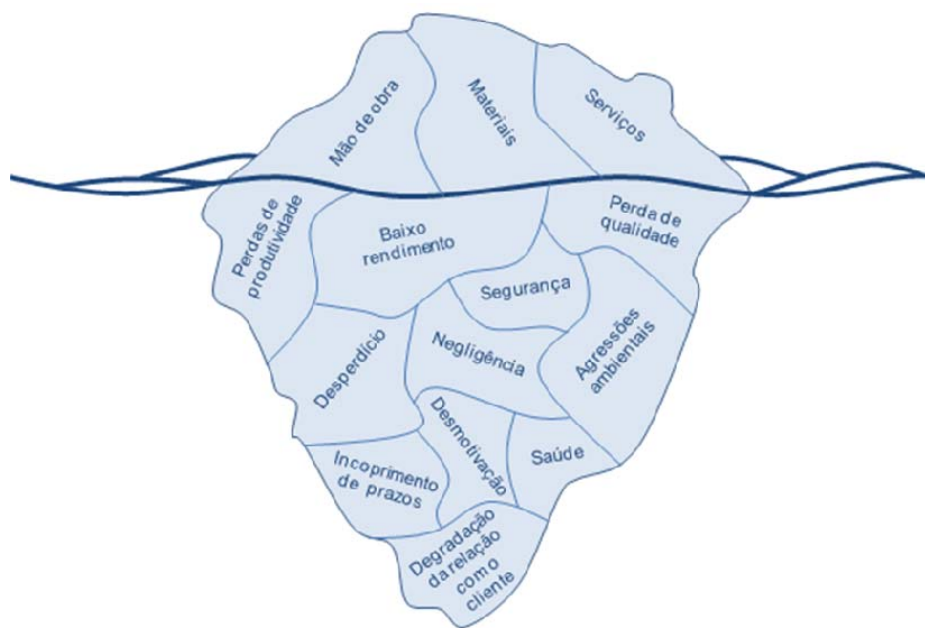


Figura 2.4 – Iceberg de custos

Os custos diretos da manutenção (custos visíveis, quantificáveis) são apenas a ponta do iceberg, pois submersos estão ou poderão estar custos indiretos (custos invisíveis, não quantificáveis) avultados, fruto da indisponibilidade dos equipamentos, cuja origem poderá ser a não-manutenção ou manutenção deficiente. Os chamados custos indiretos não se relacionam apenas com a indisponibilidade dos equipamentos, mas alguns podem ser influenciados pela manutenção, tais como, baixa produtividade, não qualidade, desmotivação e ociosidade dos colaboradores, acidentes, imagem, entre outros.

Mais manutenção não significa necessariamente, melhor manutenção. Demasiada manutenção retira tempo de produção às instalações e contribui para o aumento do custo efetivo da manutenção (Niebel, 1994). Ter-se-á que avaliar a relação entre a qualidade da manutenção e os custos da não produção de forma otimizada.

A gestão da manutenção tem de ser sensível em relação a todos os custos da organização, que de alguma forma, dependem da sua atuação. Assim, é essencial desenvolver uma cooperação construtiva entre os departamentos de manutenção, administrativo e contabilidade no seio da organização.

A análise dos custos constitui uma ferramenta essencial para a gestão, pois permite ao responsável pela gestão da manutenção tomar as principais decisões:

- Estabelecer um orçamento anual;
- Acompanhar as despesas relativamente às receitas;
- Nível de manutenção preventiva a ser executado;
- Verificar a eficácia da manutenção;
- Recurso à subcontratação, ou não;
- Renovação do equipamento, ou não;
- Entre outros...

Embora apurar custos, não seja o objetivo principal da gestão da manutenção, o gestor da manutenção tem que captá-los, estimá-los e interpretá-los, baseado em regras consistentes. Na Figura 2.5 é mostrado um gráfico que pretende elucidar sobre os custos da manutenção relacionados com o nível de manutenção a praticar, no sentido de determinar o ponto ótimo para a mesma.

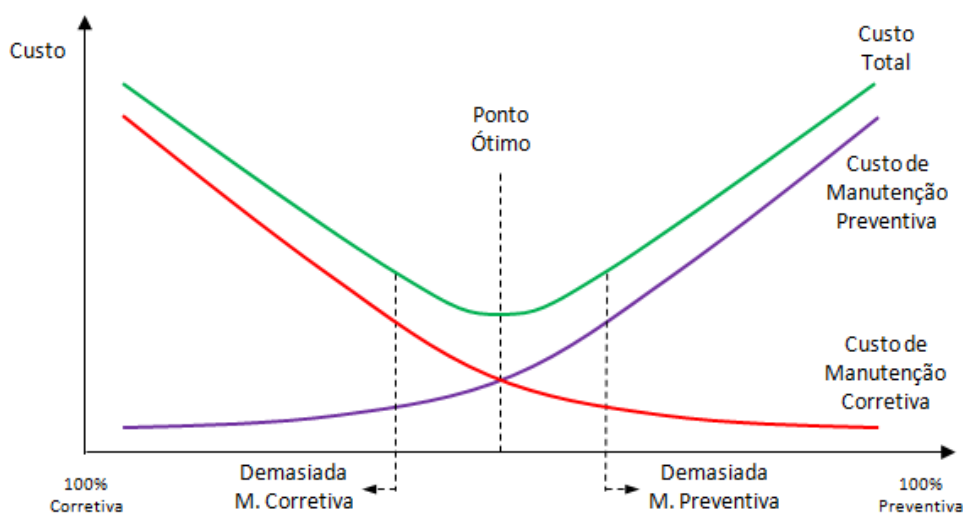


Figura 2.5 – Custos versus nível de manutenção

A manutenção pode também recorrer a indicadores orientados para o custo. Os rácios de manutenção são utilizados para fazer previsões por analogia e análises ao seu desempenho. Para o cálculo destes, é fundamental a integração de dados do sector financeiro da empresa. Na Figura 2.6, são apresentados alguns desses rácios.

Rácio	Forma de Cálculo
Índice Primário da Manutenção	$IPM = \frac{\text{Custos de manutenção}}{\text{Custo de substituição do equipamento}}$
Efetividade da Manutenção	$RP = \frac{\text{Utilização do equipamento}}{\text{Custo de manutenção}}$
Rácios de Preventiva e de Corretiva	$RP = \frac{\text{Custo da manutenção preventiva}}{\text{Custo total da manutenção}}$ $RC = \frac{\text{Custo da manutenção corretiva}}{\text{Custo total da manutenção}}$
Rácio de Subcontratação	$RS = \frac{\text{Custo dos serviços subcontratados}}{\text{Custo total da manutenção}}$

Figura 2.6 – Rácios da manutenção orientados para o custo

Outros rácios de manutenção são obtidos com dados globais da organização, tal como apresenta a Figura 2.7.

<p>CMPF (Custo de Manutenção/Faturação)</p> $CMPF = \frac{CTM}{FTEP}$ <p>Onde: CTM = Custo Total da Manutenção FTEP = Faturação da Empresa no período considerado</p>
<p>CMPT (Custo de Manutenção/Custo de Produção)</p> $CMPT = \frac{CTM}{CP}$ <p>Onde: CTM = Custo Total da Manutenção CP = Custo de Produção no período considerado</p>

Figura 2.7 – Rácios da manutenção orientados para o custo (dados globais da organização)

Os rácios apresentados são indicadores de desempenho da manutenção orientados para o custo dentro da empresa.

Wireman (1998), na sua obra *Developing Performance Indicators for Managing Maintenance*, apresenta inúmeros indicadores de desempenho da manutenção orientados para o custo, mas também outros orientadores na organização da própria manutenção e relacionados com a fiabilidade, disponibilidade e manutibilidade dos sistemas e equipamentos. Os indicadores de desempenho da manutenção podem ser usados para quantificar e qualificar a eficiência do seu trabalho, mas para Wireman (1998) devem ser usados, sobretudo, para destacar um ponto fraco na empresa, para depois ser analisado, no sentido de encontrar o problema que causa o valor baixo desse indicador.

2.10. Objetivos e Estratégia da Manutenção

Segundo a norma NP EN 13306 (2007), os responsáveis pela organização da manutenção têm o dever de definir a estratégia da manutenção. Para tal, a norma aponta três critérios fundamentais:

- Assegurar a disponibilidade do bem para a função requerida a custos otimizados;
- Considerar os requisitos de segurança relativos ao bem e ao pessoal da manutenção e da operação e, quando necessário, ter em conta o impacto ambiental;
- Melhorar a durabilidade do bem e/ou a qualidade do produto ou do serviço, tendo em conta os custos, se necessário.

A gestão da manutenção deve delinear a sua estratégia para atingir os objetivos de acordo com as necessidades reais do negócio e ativos físicos (bens) da organização. Genericamente, a norma NP EN 13306 (2007), define “objetivos da manutenção” como as metas fixadas e aceites para as atividades da manutenção. Para o termo “estratégia da manutenção”, a mesma norma refere serem os métodos de gestão utilizados para atingir os objetivos da manutenção. No entendimento destas definições, subentende-se que a gestão da manutenção deverá começar por interpretar os objetivos a atingir para, de imediato, estabelecer a sua estratégia.

Existe a necessidade de estabelecer uma estratégia de manutenção, que seja coerente com os objetivos de negócio e esteja envolvida na estratégia da empresa, permitindo garantir a sua capacidade produtiva ao longo do ciclo de vida, assim como as margens de mais-valias geradas, ou seja, permitindo manter a empresa competitiva (Gonçalves *et al.*, 2013).

Na asserção destas ideias, a gestão da manutenção em edifícios deverá estar apta para identificar as falhas no seu desempenho e desenvolver o seu plano estratégico de melhorias. Em função do serviço, do negócio ou do tipo de utilização do edifício, das suas características e criticidade dos seus ativos físicos, a manutenção deverá estabelecer as estratégias mais adequadas para a sua intervenção. As contribuições da manutenção têm, cada vez mais, impacto na realização de valor, não só através das competências técnicas, que são reconhecidamente essenciais, como também no recurso a metodologias de organização e gestão. Gonçalves *et al.* (2013) acrescentam que, muitas vezes, realizar valor pode representar minimizar a combinação de custos e riscos. O gestor da manutenção em edifícios assume também um papel decisivo no estabelecimento de

estratégias que permitam a otimização dos custos, proporcionando níveis de conforto e qualidade dos serviços ao cliente e assegurando a segurança operacional e ambiental.

A contribuição da manutenção para o desempenho das organizações tem vindo a ser cada vez mais reconhecida e podem ser evidenciados alguns dos principais impactos, como os compreendidos através da Figura 2.8.

Gonçalves *et al.* (2013) referem que as organizações têm necessidade absoluta de melhorar o seu desempenho, através do aumento dos seus rácios de ROI (*Return On Investment*), o que só é possível, melhorando o seu índice de ROA (*Return On Assets*), uma vez que os seus ativos físicos representam a componente mais importante dos investimentos.

A manutenção é uma componente imprescindível e extremamente importante de uma política de *Physical Asset Management*, que é a gestão sustentável e integrada dos ativos físicos das empresas ao longo do ciclo de vida (Gonçalves *et al.*, 2013).



Figura 2.8 - Fatores que influenciam o desempenho da manutenção (Saltzer, 2006)

Fonte: Gonçalves *et al.* (2013)

Para analisar a eficiência do processo de manutenção, devem comparar-se os seus desempenhos reais com os desempenhos esperados. No conjunto de estratégias do negócio de uma empresa, aquelas que permitem obter os resultados esperados, devem também estar abrangidas as estratégias de manutenção. As estratégias de manutenção devem proporcionar, conforme os

casos e os tipos de instalações, capacidades operacionais e produtivas, a redução de custos e a rentabilidade dos capitais investidos. A manutenção deve recorrer a políticas de manutenção que favoreçam a melhoria contínua dos meios produtivos, as “zero avarias” dos equipamentos, a qualidade dos produtos ou serviços, a satisfação dos clientes e a motivação dos trabalhadores.

As competências técnicas e de gestão do pessoal da empresa devem evoluir permanentemente, e para tal, a empresa deve definir exatamente as competências pretendidas, em coerência com a sua visão estratégica. Deste modo a empresa deve garantir que:

- São definidas estratégias de manutenção em função dos objetivos da manutenção e coerentes com as estratégias globais da empresa e do negócio;
- As estratégias definem claramente o modo como os desempenhos da manutenção participam na obtenção dos objetivos globais da empresa;
- As estratégias identificam as competências e as relações da manutenção com toda a empresa;
- As estratégias de manutenção são claramente ligadas à natureza e necessidades de manutenção dos sistemas e equipamentos da empresa;
- As missões da manutenção, assim como o planeamento e programação das ações, os processos e procedimentos da manutenção, são formalizados, comunicados e estão disponíveis;
- O conjunto de estratégias formalizadas e os desempenhos esperados são comunicados de forma que todos conheçam os seus objetivos;
- São realizadas medições e avaliações de desempenho da manutenção com periodicidade adequada para garantir o controlo e eficiência das ações e gestão da manutenção;
- As estratégias são analisadas periodicamente em simultaneidade com a confrontação dos resultados de desempenhos (técnicos e funcionais) alcançados e esperados;
- Mediante a perceção de desvios de desempenho da manutenção, face às estratégias adotadas para o alcance dos objetivos, são realizadas as correções e os ajustes necessários numa perspetiva de melhoria contínua;
- A manutenção comunica o seu desempenho e até que ponto os seus objetivos estão sendo atingidos de modo a favorecer uma perceção organizacional da manutenção a confrontar com as expectativas da empresa.

As estratégias de manutenção, em coerência com as estratégias globais da empresa devem, portanto, traduzir-se em objetivos concretos, por função, por competências e por nível hierárquico. Para que os objetivos sejam aceites, devem permitir a participação de todos. O pessoal que intervém no processo de manutenção deve conhecer o seu contributo para os desempenhos esperados e ser informado dos desempenhos alcançados. Para tal, os objetivos do processo de

manutenção devem ser quantificados, caso contrário, não serão mensuráveis e o seu controlo irá provavelmente carecer de objetividade. Para medir os desempenhos, a manutenção deve seleccionar indicadores facilmente mensuráveis e que englobem todos os objetivos da manutenção.

2.11. Desempenho da Gestão da Manutenção

Medir o desempenho é essencial em qualquer negócio. O objetivo da medição é quantificar uma situação ou compreender os efeitos das coisas que são observadas.

A medição de desempenho é um princípio fundamental da gestão e, tal como para outras funções, é importante na gestão da função manutenção (Muchiri *et al.*, 2011). Para Al-Najjar (2007), o desempenho da manutenção é claramente identificado como um componente crítico da competitividade das empresas. Portanto, a manutenção é vital para o desempenho sustentável de uma organização que dependa de ativos físicos para o sucesso do seu negócio.

Gonçalves *et al.* (2014b) referem que a gestão da manutenção é uma atividade importante nas empresas, uma vez que se preocupa em assegurar o bom funcionamento das instalações, sistemas e equipamentos, e que são alcançadas as boas condições de funcionamento com a máxima disponibilidade, tudo a um custo global otimizado. As empresas devem esforçar-se para otimizar todas as suas atividades para obter níveis satisfatórios de produtividade, a fim de se manterem competitivas no mundo dos negócios. Os objetivos da manutenção são altamente relacionados com o contexto específico dos negócios, estratégias, processos e sistemas das empresas (Gonçalves *et al.*, 2014b). Portanto, os gestores necessitam de informações sobre o desempenho da manutenção para o planeamento e controlo das atividades da manutenção.

Uma vez que a medição do desempenho da manutenção se torna um elemento essencial do pensamento estratégico, os gestores da manutenção necessitam de um bom controlo dos resultados desse desempenho nos processos de manutenção. Muchiri *et al.* (2011) e Gonçalves *et al.* (2014b), defendem que isso pode ser alcançado através do desenvolvimento e implementação de uma estrutura de medição de desempenho definida rigorosamente, com indicadores relevantes, capazes de avaliar elementos importantes do desempenho da função de manutenção.

Indicadores de desempenho bem definidos podem potencialmente apoiar a identificação de lacunas de desempenho entre o desempenho atual e o desejado e podem fornecer indicação do progresso, no sentido de colmatar as lacunas. Além disso, Muchiri *et al.* (2011) argumentam que as medidas de desempenho fornecem um elo importante entre as estratégias e as ações da gestão e, assim, apoiar a implementação e execução de iniciativas de melhoria.

Atendendo aos requisitos da norma NP 4483 (2008), a organização deve planejar e implementar a monitorização, medição, análise e melhoria dos processos de manutenção para:

- Demonstrar a conformidade dos requisitos do serviço;
- Assegurar a conformidade do sistema de gestão da manutenção;
- Melhorar continuamente a eficácia do sistema de gestão da manutenção.

Estes pontos podem ser percebidos através do estabelecimento de indicadores de desempenho. Os indicadores de desempenho devem permitir demonstrar a capacidade dos processos de manutenção para alcançar os resultados pretendidos. Quando os resultados não são alcançados, devem ser analisados os desvios e realizadas as correções apropriadas.

Como primeiro passo do processo de organização, a gestão da manutenção deve traçar os seus objetivos, como forma de fixar as metas para as suas atividades. Os objetivos da manutenção devem enunciar expectativas e dirigir-se ao desempenho global da organização, e não se cingir à manutenção em si própria (Cabral (2009). É da responsabilidade da gestão da manutenção, a adoção e o controlo dos indicadores apropriados para medir o grau de cumprimento dos objetivos estabelecidos. Não é aconselhável a utilização de muitos indicadores simultaneamente pois, muitas vezes, dificulta a análise e avaliação dos problemas.

A gestão da manutenção utiliza métricas estabelecidas para aferir o seu desempenho, identificar tendências, efetuar comparações, eleger e controlar ações de melhoria (Cabral, 2009).

A avaliação de desempenho pode ser considerada um método de análise sistemática do desempenho de processos, atividades e/ou pessoas no exercício das suas funções, com o objetivo de apreciar situações atuais de tendência e contribuir para o seu desenvolvimento futuro.

Segundo a norma NP EN 15341 (2009), o desempenho da manutenção depende de fatores externos e internos da empresa, consoante são condições variáveis fora do controlo da gestão da empresa ou não. São apontados como fatores de influência externa: a localização e cultura da sociedade; o custo de mão-de-obra; a situação do mercado; a legislação; o sector e as áreas de atuação. Como fatores internos são apontados: a cultura da empresa; a severidade do processo; a gama de produtos e/ou serviços; a dimensão da instalação; a taxa de utilização; a idade da instalação; e a criticidade.

Uma avaliação de desempenho deve permitir identificar e medir, dentro dos aspetos importantes do processo, as situações e fenómenos que contribuíram para um determinado nível de satisfação dos objetivos estratégicos e resultados da organização. A análise dos resultados dessa avaliação devem possibilitar encontrar oportunidades de desenvolvimento e melhoria, auxiliando nas decisões da gestão da manutenção.

A avaliação de desempenho é tipicamente realizada a centros de responsabilidade ou a toda a empresa (Assis, 2010). Os responsáveis pela gestão da manutenção devem, portanto, estabelecer modelos de avaliação e análise dos desempenhos conseguidos. O modelo deve contemplar a análise de sensibilidade aos resultados, permitir evidenciar a tendência dos dados e alertar para valores limites indesejáveis. Acima de tudo, a manutenção deve monitorizar o seu desempenho, visando a melhoria contínua das suas atividades e processo de gestão, o que, eventualmente pressupõe, o estabelecimento de medidas corretivas de aspetos técnicos e funcionais.

Os indicadores de desempenho devem ser selecionados com base no conhecimento da realidade da empresa. Os indicadores que utilizam dados reais de histórico, fornecem orientações objetivas

e podem proporcionar decisões mais seguras. Contudo, poderão ser úteis outros indicadores parcialmente subjetivos, cujos parâmetros de cálculo possam ser percepções que se baseiam na experiência pessoal vivida na empresa, no contexto do negócio ou por referências a *benchmarking*.

As empresas recorrem muitas vezes ao uso de valores de referência *benchmarking*, comparando (aferindo) os desempenhos próprios com os melhores desempenhos demonstrados na indústria em geral, ou em empresas que trabalham com processos similares. O *benchmarking* é uma ferramenta de gestão, cujo principal propósito é a melhoria de desempenho das organizações. Uma das técnicas é a identificação de resultados de excelência de outras empresas, geralmente mensurados através de métricas ou indicadores, que possam servir como valores de referência para a melhoria de resultados a atingir. O *benchmarking* pode evidenciar valores das melhores experiências e da excelência de desempenhos de empresas similares, mas nem sempre de forma precisa e definitiva. Muitas vezes é difícil saber até onde se podem melhorar os desempenhos do processo de manutenção e, conseqüentemente, quais os objetivos possíveis de fixar.

Estabelecer um conjunto útil de indicadores chave de desempenho (KPI - *Key Performance Indicator*) de manutenção depende dos objetivos da manutenção da empresa e é altamente relacionada com o contexto específico dos negócios, estratégias, processos e sistemas. Gonçalves *et al.* (2014b) referem que os gestores da manutenção lidam com as complexas tarefas de encontrar os melhores indicadores de desempenho que podem ajudá-los a alcançar metas.

Na literatura encontram-se alguns estudos, propondo metodologias de medição e avaliação de desempenho da manutenção, contudo, o seu principal foco é a indústria da produção (Berges *et al.*, 2011; Soderholm e Norrbin, 2011; Stenstrom *et al.*, 2011; Leon *et al.*, 2012; Muchiri *et al.*, 2011; Kumar *et al.*, 2013b; Pacaiova *et al.*, 2013; Horenbeek e Pitelon, 2014). Alguns autores apresentam investigações empíricas, estados da arte e abordagens às técnicas de medição e avaliação do desempenho da manutenção utilizadas pelas organizações industriais (Sánchez e Perez, 2001; Parida e Kumar, 2009; Muchiri *et al.*, 2010; Kumar *et al.*, 2013a). A literatura é extensa e verifica-se que, na sua maioria, são contribuições voltadas para a indústria da produção. Por outro lado, essas contribuições repetem-se nos conteúdos e os mesmos indicadores aparecem repetidamente na literatura (Gonçalves *et al.*, 2014b).

2.11.1. Key Performance Indicators (KPIs)

As empresas costumam utilizar KPIs para medir o sucesso das atividades em que estão envolvidas. Um indicador chave de desempenho (KPI – *Key Performance Indicator*) permite a quantificação de quão bem um negócio ou atividade atinge uma meta específica. Medem os resultados das ações já tomadas ao final de um período ou atividade, isto é, refletem resultados passados. A manutenção pode servir-se de um sistema de gestão de indicadores apropriados para medir o desempenho das suas atividades (Gonçalves *et al.*, 2014b).

Smith e Hawkins (2004) referem que a combinação de diversos valores da manutenção e da produção podem servir para destacar algumas condições, avaliar rendimentos de processos ou dar resposta a perguntas pertinentes à sua gestão. A essas combinações lógicas chamam-se Indicadores de desempenho (KPIs) que podem medir a manutenção em muitas áreas.

Um indicador de desempenho é definido pela norma europeia EN 15341 (2007), como uma característica medida (ou conjunto de características) de um fenómeno, de acordo com uma fórmula específica que avalia a sua evolução.

A norma EN 15341 também apresenta alguns passos como metodologia para a seleção e uso de indicadores de desempenho da manutenção. Para selecionar KPIs relevantes, esta norma prescreve que o primeiro passo é definir os objetivos a serem alcançados, cujo requisito é identificar o modelo adequado de gestão da manutenção de forma a melhorar o desempenho global. O próximo passo será o de encontrar KPIs que permitam a medição de parâmetros ou aspetos relacionados com os objetivos definidos. A norma menciona que na seleção de KPIs relevantes, pode ser feita uma primeira abordagem, escolhendo de entre uma lista de indicadores existentes, aqueles que após análise, revelem ser de interesse para medir o desempenho da manutenção sobre os aspetos pretendidos e preenchem os requisitos. Outros KPIs podem ser desenvolvidos para a medição de aspetos específicos. Wireman (1998) argumenta que podem ser desenvolvidos indicadores de desempenho sempre que seja necessário mensurar um facto, para analisar e permitir otimizar.

Segundo Wireman (1998), a maneira correta de desenvolver indicadores de desempenho, é trabalhar do topo da pirâmide, passando gradualmente pelos níveis mais baixos, até chegar à base. Assim, permitir-se-á a ligação dos indicadores, pois se for em sentido contrário, podem gerar conflitos na sua interpretação. Ou seja, dever-se-á partir do geral para o particular, de índices globais da empresa para aqueles que particularizam uma tarefa ou um sintoma. Também para Smith e Hawkins (2004), os KPIs podem ser criados de forma hierárquica e interligados para permitir direccionar a gestão às principais causas de falhas no sistema. Smith e Hawkins (2004) alegam que, para determinar os pontos fortes e fracos da manutenção, os KPIs devem ser divididos em áreas para as quais é necessário conhecer o nível de desempenho.

Um indicador relevante é um elemento-chave na tomada de decisão, o que significa que a sua avaliação e os seus dados devem estar relacionados com o parâmetro de desempenho a ser medido e de acordo com o objetivo definido. Alguns autores fornecem diretrizes (linhas de orientação) para a seleção de KPIs de manutenção que procurem alinhar os objetivos de manutenção com objetivos de produção (Muchiri *et al.*, 2011; Kumar *et al.*, 2013b), cuja relação é um fator importante para o sucesso da medição de desempenho da manutenção e para alcançar as necessidades dos clientes (Pacaiova *et al.*, 2013).

Independentemente do tipo de indicadores que são utilizados para medir o desempenho da manutenção, deve existir um procedimento para a sua identificação precisa, ou seja, um algoritmo que pode ser usado para estabelecer um conjunto de indicadores que sejam representativos em termos de valor explicativo de um dado processo (Pacaiova *et al.*, 2013). O número de indicadores

utilizados para cada departamento numa organização deve ser limitado através da identificação das principais características ou fatores-chave (Kumar *et al.*, 2013a). Ter um grande número de indicadores para medir cada aspeto da manutenção dificulta a compreensão e o trabalho para o qual foram desenvolvidos.

A norma EN 15341 fornece três categorias (económicos, técnicos e organizacionais) e três níveis (do geral para os mais específicos) de indicadores de desempenho de manutenção para avaliação e melhoria da eficiência e eficácia, de forma a se atingir a excelência da manutenção dos bens imobilizados. Na norma são apresentados 71 indicadores distribuídos pelas três categorias e três níveis de estrutura arborescente.

Cuignet (2006) apresenta alguns indicadores de desempenho da manutenção, como forma de permitir medir a concretização dos objetivos estratégicos da empresa. Este autor refere que os indicadores devem ser escolhidos em coerência com os objetivos estratégicos fixados, pois, caso contrário, não se poderão relacionar as decisões no dia-a-dia com o impacto destas nos desempenhos da empresa. Cuignet (2006) apresenta na sua obra um método articulado em torno de um círculo dinâmico de boas práticas (36) de gestão da manutenção e critérios de avaliação (440) nas categorias técnicas, de gestão e humanas.

Na literatura descrevem-se também outras categorizações de aspetos da manutenção. Para além de enumerar amplas possibilidades de uso dos KPIs, Kumar *et al.* (2013a), defendem que podem ser classificados como “indicadores avançados ou de condução” (*leading indicators*) ou “indicadores atrasados ou de resultado” (*lagging indicators*), dependendo se eles são preditivos ou não. Estes autores também diferenciam os KPIs, sugerindo que eles se dividem em dois grandes grupos, *hard* e *soft*, de acordo com a quantidade de dados envolvidos para a medição.

Muchiri *et al.* (2011) propõem uma estrutura conceptual que fornece linhas orientadoras para a escolha de indicadores de desempenho da manutenção que procuram alinhar os objetivos da manutenção com a produção e objetivos corporativos. Estes autores identificaram indicadores de desempenho do processo de manutenção e de resultados da manutenção.

Pacaiova *et al.* (2011) apresentam no seu artigo as principais vantagens e desvantagens dos processos de construção de KPIs de manutenção e alguns princípios orientadores da gestão e desenvolvimento de estruturas de KPIs apropriados. Nesse contexto, os autores também reforçam que a relação entre a manutenção e a produção é um fator importante para o sucesso da medição de desempenho da manutenção e para alcançar as necessidades do cliente.

Muchiri *et al.* (2010) investigam sobre como os KPIs são desenvolvidos ou escolhidos, a influência da produção e dos objetivos da manutenção na escolha de KPIs e a satisfação dos gestores com o uso de indicadores.

Diferentes categorias de KPIs e estruturas distintas têm sido amplamente debatidas e propostas na literatura para monitorizar e controlar as atividades da manutenção. No entanto, poucas publicações propõem metodologias para a seleção de KPIs relevantes, especialmente na área de manutenção. Muchiri *et al.* (2011) mencionam que a literatura propõe principalmente listas de

KPIs, mas carece de abordagens metodológicas para selecioná-los. Estes autores também são da opinião de que as organizações devem recorrer a modelos adequados para identificar KPIs relevantes para a função da manutenção num determinado contexto. A seleção de KPIs tem sido usualmente derivada da necessidade e experiência dos gestores da manutenção (Kumar *et al.*, 2013b).

Surgem na literatura algumas abordagens aplicando métodos MCDA (*Multiple Criteria Decision Aiding*) para a seleção de KPIs relevantes para a gestão da manutenção.

Horenbeek e Pintelon (2014) apresentam o desenvolvimento de uma estrutura de medição de desempenho da manutenção, utilizando o método ANP (*Analytic Network Process*), que é uma extensão do método AHP (*Analytic Hierarchy Process*), para auxiliar o gestor da manutenção na definição e seleção de KPIs relevantes. Os autores apresentaram uma metodologia que visa alinhar a manutenção, os objetivos e estratégia da empresa com os indicadores de desempenho a utilizar. No entanto, estes métodos apresentam algumas limitações (Gonçalves *et al.*, 2014b) e alguns autores apresentam críticas fundamentadas (Bana e Costa e Vansnick, 2008; Figueira *et al.*, 2013).

Gonçalves *et al.* (2014b) apresentam uma nova abordagem na seleção de KPIs relevantes para a manutenção. Estes autores desenvolveram uma metodologia de decisão multicritério baseada no método original ELECTRE I (*ELimination Et Choix Traduisant la REalité*). A metodologia proposta, que envolve informações de preferência do decisor (gestor da manutenção), determina a ordenação de possíveis alternativas após as suas avaliações de acordo com critérios importantes. Num caso de estudo, os autores utilizaram a metodologia desenvolvida para selecionar KPIs para a medição da qualidade do serviço de manutenção num aeroporto. Com base nos resultados obtidos, Gonçalves *et al.* (2014b) consideram que a metodologia desenvolvida é uma ferramenta eficaz para auxiliar os gestores da manutenção em tarefas precisas de seleção de KPIs de acordo com os objetivos e estratégias da manutenção. Os autores referem que a metodologia provou ser adequada e eficiente para lidar com problemas de decisão como o que foi apresentado no caso de estudo. Constataram que a metodologia proposta torna o processo de decisão mais explícito e racional, para além de reduzir o nível de subjetividade com o qual o tomador de decisão reflete as suas preferências sobre KPIs relevantes para medir um determinado aspeto da manutenção.

Gonçalves *et al.* (2014b) apontam vantagens do método ELECTRE relativamente ao método AHP e à sua extensão ANP. Nomeadamente, quando se pretende ordenar um elevado número de alternativas, para além de não apresentar as limitações técnicas.

Nesta dissertação serão utilizados métodos MCDA no processo de avaliação de desempenho da manutenção segundo o modelo LARG. O método ELECTRE será utilizado para a seleção de KPIs relevantes a integrar na medição de desempenho da manutenção nas categorias *Lean*, *Agile*, *Resilient* e *Green*. Este tema será tratado no Capítulo 5 e seguintes.

CAPÍTULO 3

ABORDAGEM PARADIGMÁTICA “LARG” À GESTÃO DA MANUTENÇÃO

3.1. Introdução

Face à complexidade, à dimensão tecnológica e às exigências funcionais dos edifícios, torna-se necessário equacionar modelos para assegurar o desempenho da gestão da manutenção dos seus ativos físicos.

O conceito LARG (*Lean, Agile, Resilient e Green*) parece fornecer uma visão inovadora e abrangente na resposta às necessidades técnicas, económicas e competitivas atuais.

Este capítulo apresenta a definição dos paradigmas LARG e desenvolve, de modo inovador, a respetiva adaptação à área da gestão da manutenção. A adequação dos conceitos LARG à manutenção exige o conhecimento antecedente da sua aplicabilidade às áreas em que tem vindo a ser empregue e das suas potencialidades para as organizações que pretendem permanecer competitivas nos mercados.

Desta forma, pretendeu-se promover os conceitos LARG numa abordagem de integração à gestão da manutenção de ativos físicos em edifícios.

Um edifício de média ou grande envergadura tem, hoje em dia, características, complexidade e exigências operacionais, que apelam a uma gestão técnica esclarecida, nomeadamente, da manutenção. O comportamento de um edifício em serviço é uma questão relevante que, no seu conjunto com os seus ativos (equipamentos e sistemas), merecem e exigem uma abordagem de gestão técnica sólida e abrangente. É fundamental que se equacionem modelos de gestão da manutenção em edifícios para garantir a disponibilidade e a fiabilidade dos seus equipamentos, para além das infraestruturas civis, com segurança, higiene, conforto e baixo custo.

Novos paradigmas têm emergido no seio das indústrias da produção com o objetivo de solucionar problemas de eficiência, desempenho e competitividade das organizações. Os paradigmas *Lean, Agile, Resilient e Green* surgem atualmente de forma inovadora, embora a sua adoção não tenha ainda sido adotada de forma integrada no contexto da manutenção. Julga-se que esta abordagem contribuirá com inovação no relacionamento de aspetos fundamentais para melhorias no desempenho da gestão da manutenção.

Para a modelação da manutenção LARG foi realizada pesquisa bibliográfica, que envolveu literatura das distintas especificidades deste estudo. Este estudo permitiu também a integração de

vários conceitos, metodologias e práticas na modelação da gestão da manutenção LARG em edifícios.

3.2. Modelação da Manutenção LARG

A presente investigação tem como um dos seus objetivos a adequação dos paradigmas LARG na gestão da manutenção. Nomeadamente, essa adequação tem um principal foco na gestão da manutenção em edifícios.

A manutenção de ativos físicos em edifícios não é muito diferente da manutenção industrial, porém, as exigências e as necessidades dos serviços de manutenção podem diferir, assim como a natureza dos ativos em causa requer práticas e metodologias adequadas. A segurança, o conforto, a imagem e a qualidade do serviço prestado por um edifício requer, hoje em dia, preocupações adicionais, contrariamente ao que acontecia em tempos passados. Tanto habitantes, clientes, trabalhadores ou outros usufruidores dos serviços dos edifícios, como os próprios proprietários requerem, cada vez mais, a sua eficiência e prolongamento do período de vida útil. A manutenção em edifícios tem atualmente preocupações com aspetos relevantes em observância com entidades inspetoras e reguladoras do funcionamento dos edifícios. A eficiência energética, a qualidade do ar interior, conforto térmico e acústico, iluminação dos espaços e fatores de segurança, higiene e saúde, são aspetos essenciais a controlar na funcionalidade das instalações da maioria dos edifícios. Requer-se portanto a máxima fiabilidade, disponibilidade, manutibilidade e segurança de todos os ativos físicos que compõem essas instalações e asseguram o serviço prestado pelos edifícios.

Dependendo do tipo de edifício, da natureza do negócio ou das atividades nele realizadas, a manutenção terá ainda atribuída a responsabilidade de assegurar a funcionalidade de instalações e ativos específicos. As atividades económicas realizadas nos edifícios requerem instalações, sistemas e equipamentos específicos e também estes necessitam de atenções de manutenção próprias e adequadas.

O clima económico cada vez mais complexo, o nível competitivo dos mercados, o desenvolvimento tecnológico, os requisitos legais e normativos e as exigências de uma sociedade, cada vez melhor informada, exigem o máximo desempenho das organizações. Os edifícios e os seus ativos físicos representam a componente mais importante dos investimentos realizados.

Gonçalves *et al.* (2013) referem que neste contexto as organizações de todos os tipos e dimensões, mas sobretudo as de capital intensivo, têm de fazer face a fatores externos e internos que aumentam o grau de incerteza sobre se são capazes ou não de atingir os seus objetivos económicos e financeiros. Portanto, torna-se necessário gerir os equipamentos tendo em atenção todo o seu ciclo de vida, de forma a diminuir essa incerteza e os riscos associados.

Porém, a gestão efetiva dos ativos físicos implica uma visão global de aspetos de natureza económica e também de gestão técnica das suas operações. Para Gonçalves *et al.* (2013), é

necessário integrar a gestão das operações na gestão global das empresas através da integração da informação relevante e relativa aos aspetos do seu desempenho.

Os edifícios, como classe de ativos físicos, considerada por Gonçalves *et al.* (2013), requerem um modelo de manutenção que permita assegurar a necessária disponibilidade dos equipamentos para um serviço otimizado. Existe, portanto, a necessidade de estabelecer estratégias de manutenção coerentes com os objetivos do negócio e que estejam envolvidas na estratégia global da empresa. O modelo de manutenção a adotar deverá ser eficaz e eficiente para garantir a capacidade de serviço do edifício ao longo do seu ciclo de vida, permitindo manter a empresa competitiva. Nesse modelo, será essencial que a manutenção saiba captar e tratar os fluxos de informação que são da sua responsabilidade.

A manutenção assume um papel determinante visto ser essencial para garantir a disponibilidade e a fiabilidade dos equipamentos e instalações de um edifício e, deste modo, influenciar de forma significativa o nível de qualidade do serviço e conforto prestado pelo mesmo. Para tal, é importante conhecer a sua dimensão, o funcionamento do edifício, a utilização, as taxas de ocupação, a qualidade requerida do seu serviço, a vida útil dos seus sistemas, equipamentos e instalações, as metodologias e os procedimentos adequados para a sua gestão da manutenção.

O conceito LARG parece fornecer uma visão inovadora e abrangente na resposta às necessidades técnicas, económicas e competitivas atuais. Nomeadamente, os paradigmas LARG integram aspetos que, adaptados à manutenção, consolidam a base do conceito *Physical Asset Management* (PAM) ou Gestão de Ativos Físicos, realçados em Gonçalves *et al.* (2013).

Com essa premissa, foi desenvolvido o modelo de gestão da manutenção LARG. Esta concetualização inovadora pretende contribuir com um modelo de gestão da manutenção mais eficiente, interpretando aspetos essenciais das atividades da manutenção e proporcionando uma visão global do seu desempenho. A modelação da manutenção LARG envolve-se com o recurso a metodologias para apoio na tomada de decisões estratégicas que permitam a melhor aptidão dos ativos físicos para o alcance dos objetivos de negócio das organizações.

A concetualização proposta é naturalmente extensível à manutenção industrial, contribuindo de igual forma para o sucesso das organizações com foco no máximo desempenho dos ativos para resultados de melhoria na produção. Todavia, os interesses nesta investigação centram-se no âmbito dos edifícios e, portanto, realçam-se os aspetos mais pertinentes com essa realidade e com as tecnologias que se envolvem com o carácter mais comum das suas instalações e ativos.

Depositam-se, neste modelo, expectativas no aumento das competências dos gestores da manutenção e de se estar a contribuir para uma maior visibilidade de aspetos essenciais no apoio à gestão da manutenção em edifícios. O conceito LARG, integrado na engenharia de manutenção pressupõe, não só a otimização de competências técnicas, mas sobretudo competências no desempenho de gestão. Assim, na prossecução da modelação da manutenção LARG, foi desenvolvida uma metodologia para avaliação do desempenho da gestão da manutenção LARG, exposta no Capítulo 6.

Pretende-se com o modelo desenvolvido, promover conceitos LARG (*Lean, Agile, Resilient e Green*) na avaliação, na análise e na implementação da gestão da manutenção em edifícios. São apresentadas metodologias que podem ser integradas e contribuir para o melhor desempenho da gestão da manutenção, em assegurar o melhor estado e funcionamento dos edifícios, potenciando uma melhor imagem, máxima produtividade e bem-estar dos seus residentes e utentes, com o mínimo custo possível.

O principal contributo deste modelo na otimização da gestão da manutenção em edifícios é contextualizá-la de uma forma LARG. Neste âmbito, o objetivo foi o de desenvolver um modelo de trabalho que permita determinar o que deve ser feito e planejar a melhor atuação nas missões das equipas de manutenção, no sentido de uma melhoria contínua da disponibilidade dos equipamentos pelo menor custo. Deste modo, pretendeu-se modelar uma gestão da manutenção:

- **Lean**, com visão abrangente e atitude proativa, que determine a melhor atuação, que assista na redução de desperdícios materiais e de tempo, empenhada na redução de custos, prevenida para a eliminação de acidentes e falhas e, sobretudo preocupada com a melhoria contínua dos ativos no cumprimento dos objetivos do negócio;
- **Agile**, com capacidade técnica, informada e dotada de conhecimentos, que habilite as equipas de manutenção para uma rápida e eficiente resposta face às ocorrências, com rigor no planeamento dos trabalhos, adaptável e flexível a alterações de sistemas, de práticas e metodologias e, sobretudo que potencie agilidade no processo de manutenção;
- **Resilient**, capacitada para dar resposta em situações disruptivas, de sobrecarga dos serviços, a eventuais acidentes ou mesmo catástrofes, que se adapte a alterações imprevisíveis e que reponha a funcionalidade dos ativos, que seja eficiente nas ações corretivas de emergência, com competências para intervir em situações de rutura sob pressão e, acima de tudo, sem suprimir a segurança no trabalho;
- **Green**, consciente em questões ambientais, que propicie eficiência energética, gestão eficiente nos consumos de energia e água, interessada na redução e tratamento de resíduos, que se preocupe e minimize nas suas intervenções a agressividade com o ambiente, que utilize recursos e práticas ambientalmente recomendadas, prudente no controlo de fontes de poluição e na eliminação de avarias com risco de danos ambientais, procurando sempre a redução de custos.

Verifica-se que o conceito LARG mostra ser aplicável à gestão da manutenção. A filosofia LARG fornece uma visão abrangente dos factos ocorridos e contribui com uma postura inovadora e eficiente para abordar novos problemas da manutenção, para um melhor desempenho das suas atividades e decisões e, principalmente, verificando uma abrangência de aspetos atualmente fundamentais no âmbito de atuação da manutenção.

Em termos conceituais, a Figura 3.1 apresenta genericamente o modelo desenvolvido para a gestão da manutenção LARG. Ou seja, são enunciados os principais contributos integrados a cada paradigma LARG para a gestão das atividades da manutenção. A figura ilustra a junção dos paradigmas LARG com cores diferenciadas, cuja associação se aplica em toda a dissertação.

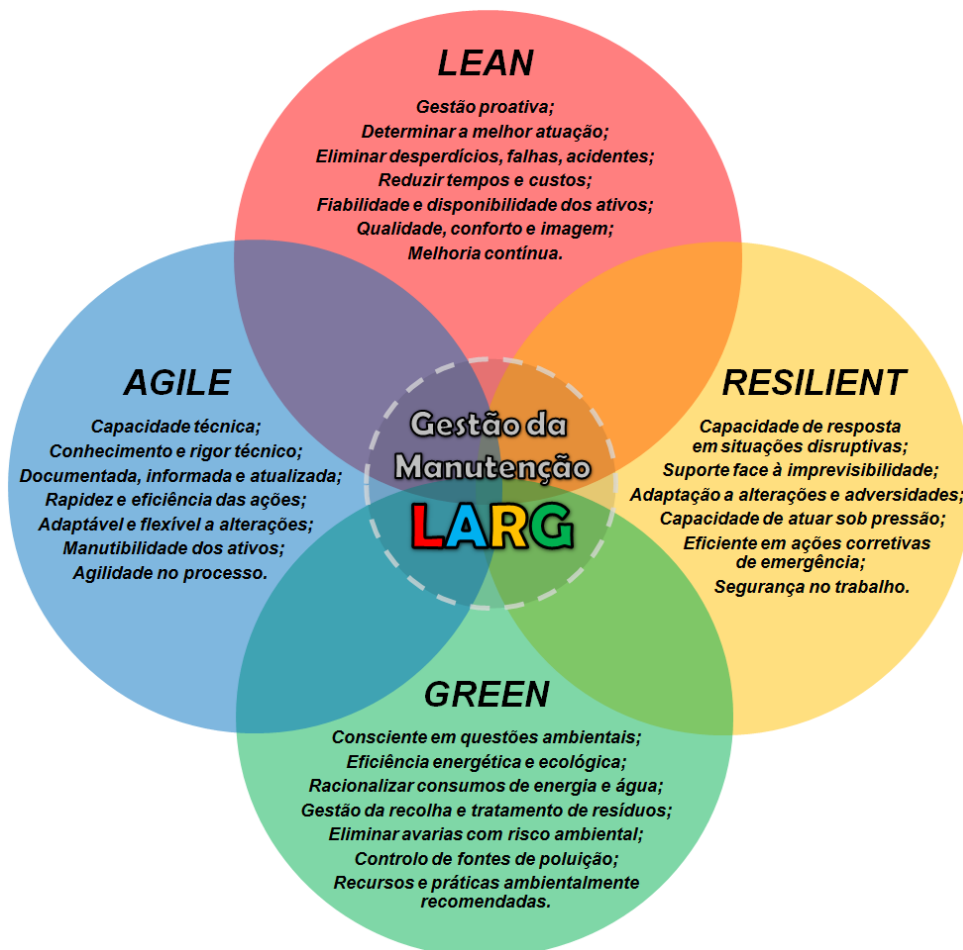


Figura 3.1 – Modelo conceitual da gestão da manutenção LARG

A implementação do modelo de gestão da manutenção em edifícios, com base nas premissas LARG, pretende estabelecer uma manutenção proactiva, que viabilize a máxima fiabilidade, disponibilidade e conforto das suas instalações, que garanta segurança de pessoas e bens, interessando-se sempre pela melhoria contínua e ajustando o próprio modelo de gestão da manutenção ao longo do ciclo de vida do edifício.

Nos próximos números deste capítulo, são explorados os conceitos LARG inerentes a cada paradigma. São abordados os principais aspetos de interesse à modelação da gestão da manutenção em edifícios no âmbito da filosofia LARG.

3.3. LARG (*Lean, Agile, Resilient e Green*)

Atualmente é necessário que as organizações recorram a meios para obterem vantagens competitivas no mercado cada vez mais exigente e de inovação tecnológica. Para a satisfação do cliente ao mais baixo custo possível, as organizações necessitam de controlar e gerir um número cada vez maior de equipamentos, produtos, serviços e pessoas de modo otimizado, inovando e imputando melhorias.

Face às novas exigências, também as estratégias da gestão da manutenção moderna devem definir, compreender e direcionar novos paradigmas para assegurar a continuidade dos negócios das organizações.

Pretende-se realizar uma abordagem LARG à gestão da manutenção, isto é, enquadrar os conceitos *Lean, Agile, Resilient e Green* no seio da gestão da manutenção em edifícios. Julga-se que este tipo de abordagem permitirá integrar de forma consistente e inovadora, mais eficiência na gestão da manutenção de edifícios.

O conceito LARG surgiu como resultado da integração dos modelos *Lean, Agile, Resilient e Green* na gestão estratégica de cadeias de abastecimento, e foi desenvolvido no âmbito de um projeto de investigação conjunta entre a Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa (FCT-UNL) e o MIT Portugal (MIT - *Massachusetts Institute of Technology*).

O objetivo do projeto é o de propor um modelo que forneça orientações nas práticas de gestão das cadeias de abastecimento para a indústria da produção. As investigações no âmbito deste projeto permitiram o desenvolvimento de um modelo conceptual LARG, cuja base permite a sugestão de melhores práticas e orientações para um melhor desempenho na gestão das cadeias de abastecimento. Os investigadores envolvidos no projeto mencionam que os resultados obtidos nos estudos e trabalhos desenvolvidos tornam as cadeias de abastecimento mais *Lean, Agile, Resiliente e Green* (Carvalho e Cruz-Machado, 2009; Cruz-Machado e Duarte, 2010; Grilo *et al.*, 2011; Maleki *et al.*, 2011; Carvalho e Cruz-Machado, 2011; Espadinha-Cruz *et al.*, 2012; Azevedo *et al.*, 2012). Algumas das pesquisas realizadas, envolvendo revisão da literatura e o desenvolvimento de metodologias, sugerem a implementação de sistemas de medição de desempenho para avaliar e controlar resultados obtidos e apoiar os gestores na tomada de decisão de práticas LARG nas cadeias de abastecimento (Azevedo *et al.*, 2011; Grilo *et al.*, 2011; Cabral *et al.*, 2012).

Os primeiros passos na modelação e integração dos paradigmas LARG foram no sentido de compreender como se relacionam os paradigmas *Lean, Agile, Resilient e Green*. Em Carvalho e Cruz-Machado (2009), Cruz-Machado e Duarte (2010) e Carvalho *et al.* (2010) foram analisados e relacionados os paradigmas LARG na indústria da produção e das cadeias de abastecimento, com o intuito de as tornar mais eficientes e competitivas. Os autores expõem as principais contribuições encontradas na literatura que pesquisaram para compreender a integração dos referidos paradigmas na gestão das cadeias de abastecimento. Contudo, verificaram que as

principais contribuições eram parciais, pois apenas foram encontrados estudos bilaterais entre os paradigmas. Isto é, não foram encontrados estudos para uma compreensão completa e integrada dos paradigmas LARG que afetam a cadeia de abastecimento da indústria.

Estes estudos pioneiros oferecem uma compreensão completa e integrada dos paradigmas LARG que afetam as cadeias de abastecimento. Os conceitos LARG foram abordados e mostraram alguma evidência no seu relacionamento. Segundo os autores, a compreensão das relações entre os paradigmas LARG pode contribuir para organizações mais eficientes e de competitividade sustentável.

A produção científica em torno deste projeto é já considerável e tem mostrado resultados teóricos e práticos validados na aplicação da filosofia LARG. Grilo *et al.* (2011) consideram que as organizações devem implementar um conjunto de práticas LARG para tornar as cadeias de abastecimento mais competitivas, capazes de responder com agilidade às exigências dos clientes num mercado cada vez mais volátil e turbulento, conjuntamente com responsabilidade ambiental e eliminando processos que não acrescentam valor.

Para muitos autores, uma modelação LARG pode contribuir para auxiliar os gestores na seleção das práticas e das medidas mais adequadas, para um correto desempenho das organizações nos mercados competitivos que impõem produtos e serviços de qualidade com tempos e custos cada vez mais reduzidos. Há, porventura, aspetos importantes a considerar na integração dos paradigmas LARG e na adequação das práticas selecionadas, que podem ser contraditórios e/ou impor limitações ao modelo.

O ideal de uma empresa *Lean* será deter praticamente "zero" itens de inventário (por exemplo sobressalentes), contudo, para deter resiliência deve possuir o inventário suficiente para reagir aos efeitos de rutura, de situações disruptivas e recuperar de adversidades. Além disso, existe a necessidade de assegurar a sua agilidade nos processos rotineiros e estabelecer limites na base de um sistema de recursos ambientalmente recomendados. São, portanto, conceitos contraditórios. No entanto, a empresa deve procurar um ideal que assegure a sua gestão *Lean* sem afetar as suas funcionalidades na interação entre os restantes paradigmas.

Existem, portanto, algumas limitações e contrariedades a ultrapassar na combinação dos paradigmas LARG num ambiente empresarial, alguns dos quais são enumerados em Cruz-Machado e Duarte (2010) e são também desafios a considerar numa modelação da manutenção LARG:

- Como combinar práticas *Lean* com uma resposta *Agile*;
- Como combinar o paradigma *Lean* quando as organizações estão sujeitas a perturbações e não podem ser suficientemente resilientes para recuperar face à competitividade;
- Como são compatíveis os paradigmas *Green* e *Lean*;

- Como as organizações podem enfrentar obstáculos para desenvolver a agilidade e a resiliência;
- Quanto importante é o paradigma *Resilient* para que uma organização consiga ser *Green*.

Cruz-Machado e Duarte (2010) referem que os paradigmas LARG requerem ser modelados numa base de compatibilidade. Estas questões relacionam-se com a forma como os diferentes paradigmas podem ser combinados, de modo a corresponderem às necessidades da organização, considerando as ambiguidades, os contraditórios ideais e objetivos entre os paradigmas. Será, portanto, necessário estabelecer um modelo e metodologias de trabalho para melhorar a agilidade organizacional, num ambiente *Lean* e *Green*, de modo a acelerar a transição entre os estados que requerem maior ou menor grau de resiliência na organização. Para Cruz-Machado e Duarte (2010), é importante caracterizar em detalhe todos os paradigmas, definindo os seus sistemas de medição de desempenho, bem como atributos, práticas de implementação e eventuais desenvolvimentos multidisciplinares.

Figueira *et al.* (2012) apresentam um modelo conceptual da integração de fatores humanos nas organizações LARG. Estes autores referem que, para uma implementação bem-sucedida dos paradigmas LARG, é necessário um cuidado especial com as questões relacionadas com fatores humanos para evitar problemas de saúde e segurança aos trabalhadores e prejuízos para as empresas. Figueira *et al.* (2012) referem que os processos e os locais de trabalho devem ser analisados e projetados, combinando princípios de ergonomia e segurança. Por exemplo: na implementação de práticas *Lean* e *Resilient*, a diminuição dos tempos dos processos não deve afetar os períodos de descanso nem colocar em causa a segurança dos trabalhadores; o aumento de práticas *Agile*, que têm efeito no modo como o trabalho é organizado e realizado pode aumentar prejudicialmente a carga mental imposta para os trabalhadores. Por outro lado, Figueira *et al.* (2012) analisam que há também algumas práticas LARG que podem ter efeito positivo sobre os trabalhadores, como por exemplo: a redução de materiais perigosos e tóxicos nos processos, como prática mais *Green*, contribui para melhorar as condições de saúde e segurança dos trabalhadores.

Para uma modelação LARG, cada organização deve estabelecer a sua própria estrutura de necessidades, nomeadamente através de um sistema de medição de desempenho, para abordar e resolver as questões relacionadas com as compatibilidades e limitações na integração dos paradigmas. Este é também um desafio enfrentando continuamente as oscilações das necessidades dos clientes, da competitividade nos mercados, das instabilidades das economias, das exigências normativas e até do mundo físico.

Tal como para as cadeias de abastecimento, é necessário compreender os mecanismos básicos da implementação de um novo modelo para reconhecer e projetar novas oportunidades de melhoria para a manutenção.

Numa comparação da gestão da manutenção com a gestão da cadeia de abastecimento na indústria, Cuignet (2006) refere que todas elas requerem uma perfeita estabilidade e fiabilidade dos processos, pois se estes processos não forem bem dominados e fiáveis, nenhuma gestão dará os seus frutos.

Há semelhança das cadeias de abastecimento, também para a gestão da manutenção se evidenciam benefícios numa modelação LARG. Para tal, será necessário projetar o seu modelo organizacional, o sistema de informação, os fatores humanos e tecnológicos, estabelecer metodologias, estratégias e ferramentas para melhorar o desempenho da gestão da manutenção. Nomeadamente considera-se importante o desenvolvimento de um sistema de medição de desempenho da gestão da manutenção como forma de medir esse desempenho na integração com os paradigmas LARG. A implementação de um sistema de medição de desempenho para avaliar e controlar resultados obtidos pode apoiar os gestores na tomada de decisão de práticas LARG nas atividades da manutenção.

O modelo conceptual da gestão da manutenção LARG, desenvolvido e apresentado na Figura 3.1 do número anterior deste capítulo, pode ser a base para permitir a análise e a sugestão de melhores práticas e orientações e, conseqüentemente, para um melhor desempenho na gestão da manutenção.

Nos próximos números, abordam-se os conceitos LARG no âmbito da gestão da manutenção em edifícios. São caracterizados com mais detalhe os paradigmas *Lean*, *Agile*, *Resilient* e *Green* para permitir a identificação de aspetos fundamentais na integração LARG, com especial foco na gestão da manutenção em edifícios. A análise dos estudos sobre a integração dos paradigmas LARG nas cadeias de abastecimento da indústria da produção, foi essencial para permitir a definição e adequação desses paradigmas no âmbito da gestão da manutenção. A pesquisa realizada envolveu também literatura no contexto de aspetos e conceitos da manutenção. Com a abordagem aos conceitos LARG realizada, será possível compreender melhor como podem ser relacionados estes novos paradigmas e tornar possível a modelação LARG para uma manutenção eficiente.

3.3.1. *Lean*

Pensar *Lean* (magro) é evitar desperdícios e criar valor. A filosofia *Lean* nasceu no seio do desenvolvimento da indústria automóvel no século passado. Atualmente é bastante abrangente e aplicável à generalidade das atividades empresariais.

O termo *Lean* aliado à indústria da produção, sugere a eliminação de desperdícios (processos, materiais, tempos, defeitos, excesso de produção). A eliminação dos desperdícios proporciona a melhoria da qualidade e a diminuição de custos. O principal objetivo da filosofia *Lean* é a maximização da criação de valor através da redução de desperdícios, ou seja, criar mais valor com menos recursos.

Lean Manufacturing (produção magra) é uma filosofia de gestão da produção desenvolvida por Taiichi Ohno (Ohno, 1998), engenheiro mecânico e vice-presidente executivo da Toyota Motor Corporation, no Japão. Ohno foi o principal mentor do Sistema de Produção da Toyota (TPS - *Toyota Production System*), desenvolvido durante o período de reconstrução do Japão após a Segunda Guerra Mundial, do qual derivou a filosofia *Lean Manufacturing*. A abordagem *Lean* foi designada apenas na década de 1990.

A prática de produção *Lean Manufacturing* considera que todos os desperdícios são alvos a abater, pois não criam valor para o produto ou serviço que o cliente final estará disposto a pagar. Segundo uma abordagem *Lean*, é necessário conseguir “zero defeitos”, detetar a origem e a solução dos problemas, minimizar desperdícios, otimizar os recursos escassos (capital, pessoas e espaço), eliminar todas as atividades que não têm valor agregado, reduzir custos, melhorar a qualidade, aumentar a produtividade, partilhar informação e eliminar os tempos improdutivos.

Lean é basicamente tudo o que se relaciona com a obtenção de materiais corretos, no local correto, na quantidade correta, minimizando o desperdício, sendo flexível e aberto a mudanças, com o objetivo de fornecer o produto ou serviço com a mais elevada qualidade, com o menor custo e tempo possível.

O conceito *Lean* não é produtividade, mas sim remoção de desperdícios do processo produtivo mantendo a qualidade do produto (Smith e Hawkins, 2004). Porém, o conceito *Lean* pode estender-se noutros contextos que não sejam diretamente relacionados com a gestão da produção. Nomeadamente, *Lean Maintenance* é já uma abordagem conhecida no contexto da manutenção de ativos físicos, cuja filosofia se concentra também na redução de desperdícios, no sentido de diminuir os custos do processo produtivo (Yile *et al.*, 2008). A manutenção *Lean* procura, através da eliminação de desperdícios, acrescentar valor à gestão da manutenção (Baptista *et al.*, 2011). *Lean Maintenance* é, portanto, o conceito do pensamento *Lean* aplicado à gestão da manutenção.

O conceito *Lean* procura eliminar todas as formas de desperdício no processo de produção, incluindo resíduos nas operações de manutenção (Smith e Hawkins, 2004). *Lean Maintenance* não é um conceito dependente de *Lean Manufacturing*, mas sim o resultado natural da aplicação dos princípios e soluções *Lean* à gestão da manutenção moderna, impulsionando e colocando novos desafios às organizações. Segundo Baptista *et al.*, (2011), a adoção de uma filosofia e de ferramentas *Lean*, aplicadas à gestão da manutenção, permite obter uma gestão dos recursos mais eficiente e reduzir desperdícios, tais como custos com pessoal, custos de materiais e ferramentas, custos de produção, entre outros. A redução dos desperdícios nas operações da manutenção dos ativos físicos apresenta-se como um grande contributo no sucesso das organizações. Porém, o gestor da manutenção deve preocupar-se também com a disponibilidade, fiabilidade e todos os aspetos que têm impacto com o desempenho dos equipamentos e a sua melhoria contínua.

Lean Maintenance é um termo relativamente recente, cujo conceito tem também como objetivo principal, aumentar a disponibilidade e a fiabilidade dos equipamentos de acordo com as necessidades requeridas, eliminando os custos da manutenção o quanto possível e no sentido de realizar valor com os ativos físicos. Gonçalves *et al.* (2013) referem que a realização de valor normalmente envolve uma otimização dos custos, dos riscos, das oportunidades e dos benefícios de desempenho dos ativos. O emagrecimento da manutenção pode verificar-se através de uma redução das suas atividades ao essencialmente necessário, reduzindo os custos diretos e indiretos (Lampreia e Parreira, 2011).

Segundo Smith e Hawkins (2004), o TPM (*Total Productive Maintenance*) foi o fundador da manutenção *Lean*. Os objetivos do TPM (Capítulo 4) incluem a eliminação de todos os acidentes, defeitos e paragens por avaria.

O TPM é uma ferramenta que tem como principal objetivo a manutenção dos equipamentos nas condições ideais, minimizando todos os desperdícios a eles associados sem redução da qualidade. As falhas dos equipamentos devem ser corrigidas para não gerarem desperdícios na produção. Com a implementação do TPM pretende-se a eliminação dos principais problemas, nomeadamente através da identificação dos equipamentos que originam perdas e problemas na produção. O TPM envolve a colaboração de todos os trabalhadores na resolução dos problemas para assegurar a melhoria contínua, de forma a atingir uma maior eficiência nos equipamentos. Uma das maiores diferenças entre o TPM e outros conceitos é a envolvimento dos operadores no processo de manutenção, considerando os operadores como o melhor monitor da condição dos equipamentos. De uma forma geral, o objetivo do TPM é aumentar a produção e, simultaneamente, aumentar nos colaboradores a moral e a satisfação no trabalho.

Com a manutenção *Lean*, pretende-se determinar a melhor atuação, eliminando acidentes, falhas, defeitos, paragens e custos, através de uma gestão proativa. O ideal de manutenção é que seja planeada para atuações preventivas, eliminando ao máximo a suas atuações não planeadas de manutenção corretiva. A gestão no modo reativo, com prevalência das atividades de manutenção corretiva, contribuem para o desperdício de material e de tempo, para a redução do ciclo de vida dos ativos e para a perda de produtividade ou qualidade de um serviço.

Smith e Hawkins (2004) definem *Lean Maintenance* como uma operação de manutenção proativa, empregando atividades de manutenção planeada e programada através de:

- Práticas de Manutenção Produtiva Total (TPM);
- Utilização de estratégias de manutenção desenvolvidas através da aplicação de lógicas de decisão de Manutenção Centrada na Fiabilidade (RCM - *Reliability Centered Maintenance*);
- Equipas de manutenção habilitadas na utilização dos processos "5S";
- Atividades semanais de melhoria contínua (*Kaizen*);

- Manutenção Autônoma;
- Técnicos multi-qualificados;
- Sistema de ordens de trabalho (OTs);
- Sistema de gestão da manutenção por computador (CMMS – *Computer Maintenance Managed System*);
- Sistema de gestão dos ativos da empresa (EAM - *Enterprise Asset Management*);
- Sistema de fornecimento e armazenamento de peças e materiais de manutenção baseado no sistema JIT (*Just-In-Time*);
- Sistema de engenharia de manutenção e fiabilidade para análise da origem das causas de falhas (RCFA - *Root Cause Failure Analysis*);
- Análise da tendência da taxa de falhas;
- Análise de manutenção preditiva;
- Análise dos resultados de monitorização do estado dos equipamentos por condição.

No contexto desta definição, Smith e Hawkins (2004) apresentam uma pirâmide (Figura 3.2) para explicar que a manutenção *Lean* pode ser uma integração que inclui quase todas as teorias, práticas e conceitos até à atualidade.

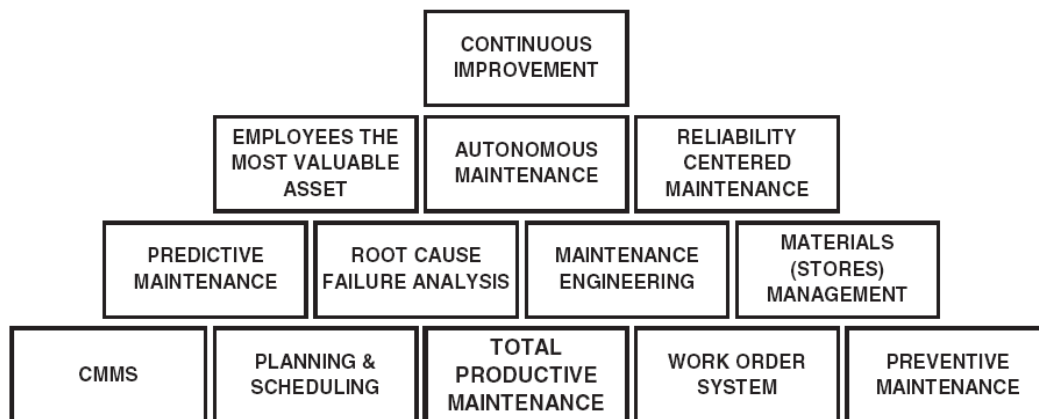


Figura 3.2 – Pirâmide da gestão da manutenção
Fonte: Smith e Hawkins (2004)

No processo de manutenção podem ser identificados vários tipos de desperdícios. A manutenção *Lean* deve realizar uma análise para identificar os potenciais desperdícios nos seus processos para que possam ser eliminados. Com base nos raciocínios do engenheiro Ohno, Mather (2007), identifica possíveis desperdícios no processo de manutenção com vista à sua eliminação:

- **Trabalho improdutivo** - atividades que não necessitam efetivamente de serem realizadas por não acrescentarem valor, nomeadamente, ações de manutenção preventiva com periodicidades muito curtas e/ou utilizando mais recursos do que os necessários;
- **Atraso em movimentos** - todos os tempos de espera, atrasos à espera de peças, ferramentas, máquinas, pessoas, entre outros, necessários para realizar ações de manutenção. Tempos de encaminhamento de incidências, a aguardar pela atribuição do serviço ou de instruções como reparar, entre outros. Os tempos de espera não acrescentam valor e por esse motivo devem ser eliminados ou reduzidos ao mínimo;
- **Movimentos desnecessários** - deslocações desnecessárias para o exterior ou movimentações internas, procurando peças, ferramentas ou manuais técnicos. Frequentemente, os trabalhadores executam movimentações escusadas entre bancadas de trabalho na oficina, deslocações de estações de trabalho móveis sem uma boa razão, movimentações de itens e materiais inúteis ou dispensáveis em ações de manutenção que não foram programadas devidamente, entre outros;
- **Má gestão do inventário** – não possuir materiais e/ou peças adequadas no momento em que são requeridas para as ações em execução. Pelo contrário, outra forma de desperdício nesta área é possuir itens obsoletos e excesso de inventário, uma vez que em ambos os casos significa capital investido e consumo de recursos, desnecessariamente;
- **Retrabalho** – ter que repetir ou adicionar tarefas como resultado de trabalho deficiente ou mal executado inicialmente. As ações de manutenção corretiva de urgência são por vezes executadas sob pressão para a reposição dos ativos em serviço, podendo não lhes ser dado o tempo suficiente para corretas reparações. Pessoal da manutenção sem formação adequada em ações exigentes, face à tecnologia dos equipamentos, resulta em trabalho de baixa qualidade tendo de ser refeito por habilitados;
- **Subutilização do pessoal** - não aproveitamento do potencial humano. Utilizar as pessoas atribuindo tarefas e competências pelos limites das suas qualificações e não consoante as suas capacidades demonstradas ou experiência adquirida. Não investir na formação dos trabalhadores, não permitindo assim uma maior polivalência no trabalho;
- **Gestão ineficaz de dados** – recolha ineficaz de dados, recolha de dados sem utilidade ou falha na recolha de informação considerada vital. Controle ineficaz na recolha e registo de dados, uso incorreto dos dados ou simplesmente negligenciar o tratamento e o seu potencial contributo após a recolha. Não existência de uma ferramenta informática (CMMS) adequada ou ineficiência na sua utilização e gestão dos dados. Não interligação do resultado da análise dos dados com os processos de manutenção;
- **Aplicação errada de máquinas** – operação incorreta dos equipamentos ou estratégias operacionais deliberadas que conduzem a ações de manutenção desnecessárias. O pessoal da manutenção pode, em ações corretivas, preventivas ou de teste, incorrer em erro, provocando avarias por desconhecimento do modo de operar os equipamentos.

Sobrecarregar ou superar os limites e condições operacionais dos equipamentos conduz certamente a condições de risco de dano nos ativos, inclusivamente para pessoas. A operação incorreta dos equipamentos conduz à diminuição precoce da sua vida útil e dispêndio de recursos antes do tempo previsto no plano de manutenção.

A identificação dos desperdícios nas atividades do processo de manutenção possibilita a análise de soluções para eliminação ou que permitam a sua redução ao mínimo possível.

Lean é redução de desperdícios mas com satisfação do cliente, é dar primordial importância à qualidade, à melhoria contínua e à resolução de problemas. Mas, acima de tudo, a principal atenção são as pessoas. Ao contrário do que acontece nas organizações tradicionais, para as organizações *Lean*, as pessoas não são problemas, mas sim quem resolve os problemas (Smith e Hawkins, 2004).

Lean é também incentivar o envolvimento dos trabalhadores na redução de desperdícios, no relacionamento com os clientes, na qualidade do produto ou serviço e no melhoramento contínuo. Conhecer o cliente é o ponto de partida para uma postura *Lean*. Segundo Pinto (2011), só conhecendo quem se serve é possível definir valor e trabalhar no sentido da sua criação e entrega.

Os trabalhadores devem confiar na empresa para se entregarem à melhoria e à possível eliminação das rotinas de trabalho que não criam valor. Uma regra fundamental nas empresas *Lean* é garantir que os trabalhadores não se tornarão desnecessários como resultado dos ganhos de eficiência e não serão despedidos (Smith e Hawkins, 2004). Pelo contrário, segundo o conceito *Lean* os trabalhadores devem receber formação e serem consciencializados dos custos da manutenção, perceber que cada investimento deve carecer de análise prévia, no sentido de não se cometerem gastos desnecessários e aumentar a produtividade com o mesmo número de pessoas. O paradigma *Lean* induz reduzir custos nos serviços de manutenção, na produção, na logística, na administração e nas próprias pessoas, mas acima de tudo implica inovar. A manutenção deverá procurar práticas inovadoras, identificando oportunidades de melhoria dos processos, produtos e serviços, colaborando também com outras funções na empresa.

Lean maintenance não é simplesmente uma abordagem para fazer mais com menos recursos. Através de *Lean maintenance*, Pinto (2011) refere que, as empresas podem focar-se nos recursos críticos e necessários para ir ao encontro de requisitos legais e/ou do cliente. Este autor considera que, pensar na eliminação dos desperdícios como único propósito da manutenção *Lean*, é desperdiçar o potencial desta filosofia na criação de valor para as organizações, quer seja através da redução de custos, ou da criação de melhores condições de operacionalidade de equipamentos e instalações.

Para um pleno ambiente *Lean*, todos os que trabalham na empresa necessitam de saber mais sobre as necessidades dos clientes, sobre a manutenção e fiabilidade dos equipamentos, isto é, saber mais sobre as operações do negócio. Neste contexto, Smith e Hawkins (2004) referem que,

efetivamente, integrar o conhecimento entre os elementos da organização, requer o estabelecimento de sistemas de comunicação que promovam a instantânea partilha de conhecimento. Para Sánchez e Pérez (2001), *Lean* implica descentralização de responsabilidades e diminuição dos níveis de hierarquia nas organizações. Operações eficientes requerem a difusão da informação a todos os níveis das organizações *Lean*. Deve ser promovida a melhoria da comunicação e integração da função manutenção com as demais funções da empresa.

Todos os processos numa empresa devem ter objetivos comuns para que obtenha vantagem competitiva. Smith e Hawkins (2004) argumentam que para se ter sucesso nas operações *Lean*, todos os departamentos deverão trabalhar juntos para transmitir informação e dados, para identificar e corrigir problemas e para manter todos os espaços de trabalho seguros.

Sánchez e Pérez (2001) referem que algumas empresas *Lean* possuem muitas equipas de trabalhadores na resolução de problemas e desenvolvem várias tarefas, e isso requer um esforço da empresa na formação dos trabalhadores em controlo de qualidade, manutenção, entre outras áreas.

A manutenção *Lean* é uma manutenção proativa, que faz o planeamento e a programação das atuações de modo otimizado, que recorre a práticas de TPM e que procura usar estratégias com objetivos na eliminação de desperdícios materiais, de tempo de atuação e de custos.

Smith e Hawkins (2004) referem que as organizações podem acelerar as suas melhorias com risco muito menor através da eliminação dos defeitos que criam trabalho a mais e impedem a eficiência da produção ou da prestação de um serviço. A otimização da manutenção poderá aumentar tanto o tempo de manutenção disponível para fazer novas melhorias, como irá reduzir os defeitos que causam paragens de produção, produtos e/ou serviços deficientes ou mesmo acidentes. Smith e Hawkins (2004) salientam que a redução de custos e a melhoria da produção são resultados imediatos do estabelecimento de operações de manutenção *Lean* como o primeiro passo na transformação geral de uma empresa *Lean*.

McCarthy e Rich (2004) apontam na sua obra os benefícios e as características principais da combinação *Lean* e TPM. Estes autores defendem que a combinação de um pensamento *Lean* com o TPM pode harmonizar princípios e técnicas para alterar velhos padrões de comportamento, tornando-os mais versáteis, flexíveis e com visão proactiva. A combinação dos dois conceitos (*Lean* e TPM) promove a participação dos trabalhadores, a aprendizagem, a inovação e a melhoria nas práticas correntes. Para McCarthy e Rich (2004) *Lean* e TPM garantem ainda o envolvimento de todos na alteração e inovação em termos de pensar sobre como o trabalho é conduzido, identificando desperdícios e os trabalhadores são as fontes de novas ideias, novas formas de trabalho e de melhoria sustentável.

A melhoria da produtividade e/ou da qualidade do serviço pode ser alcançada através de colaboradores altamente motivados, resultado da formação, da atribuição de competências e do alargamento das suas responsabilidades.

McCarthy e Rich (2004) referem ainda que, numa aplicação do pensar *Lean* e práticas TPM, um dos principais aspetos deverá ser o sistema de medição que forneça visibilidade de perdas na gestão e necessidades de clientes não satisfeitas (anteriormente ocultas).

Machado e Duarte (2010) afirmam que para criar uma cadeia de abastecimento *Lean* é necessário examinar cada processo e identificar os recursos desnecessários, os quais podem ser medidos em custo, tempo ou inventário. Na manutenção, tal como nas cadeias de abastecimento, deverão minimizar-se os desperdícios e resíduos, procurando gastar a quantidade certa de produtos, materiais e serviços, no momento adequado, com o mínimo de trabalho, de atuações e de tempo possível. Isto é, o mínimo tempo com o mínimo de desperdícios e resíduos.

É também patente em Sánchez e Pérez (2001) a ideia que um dos principais objetivos da manutenção *Lean* é a eliminação de tudo o que não adicione valor ao produto ou serviço. Estes autores acusam que a manutenção quando é deficiente exige um *stock* elevado de sobressalentes de modo a prevenir estrangulamentos em máquinas que avariam frequentemente. Uma melhor atenção na correção desse tipo de problemas pode beneficiar a fiabilidade e disponibilidade das máquinas e permitir reduzir o inventário de itens de substituição em armazém. Os custos associados à aquisição e armazenamento de bens em excesso à espera de serem substituídos são desperdícios que podem ser eliminados ou otimizados. Seguindo os objetivos da filosofia *Lean*, deve ser otimizada a gestão de itens em *stock*, de modo a garantir a quantidade mínima e necessária de existências, por forma a reduzir os custos de armazenamento e de posse.

A manutenção *Lean* deve aplicar várias estratégias para deteção das avarias de forma a reduzir o erro de diagnóstico e consequentes riscos associados a decisões erradas, maximizando assim, significativamente, a eficácia e eficiência da manutenção.

Tal como aplicável segundo a filosofia TPM, a manutenção *Lean* deve adotar abordagens ao ciclo de vida dos ativos para a melhoria dos seus desempenhos. Para uma maior disponibilidade dos ativos a manutenção deve estabelecer atividades como a identificação e análise das causas das avarias, assim como a análise de possíveis modificações nas instalações. De um modo geral, as práticas da filosofia TPM devem ser implementadas para a integração do paradigma *Lean* à manutenção. Ou seja, os princípios *Lean* devem ser combinados com os TPM como forma de permitir um processo de manutenção *Lean*.

Face à competitividade entre as empresas e ao preço excessivo dos produtos e serviços que os clientes não querem pagar, as empresas devem adotar práticas assentes na filosofia *Lean* para constante identificação e eliminação de todo o tipo de desperdícios e melhorar os seus processos, rentabilizando ao máximo a sua cadeia de valor. A manutenção *Lean* pode contribuir para as empresas se tornarem mais competitivas.

Os principais objetivos da manutenção *Lean* passam pela deteção dos desperdícios e a sua posterior eliminação. O resultado final contemplará um aumento da fiabilidade dos equipamentos,

aumento da produtividade e a redução de custos. Este é sempre o propósito final da empresa: alcançar a vantagem competitiva em relação aos concorrentes.

A manutenção *Lean* de instalações em edifícios deve preocupar-se na entrega das suas atividades para a criação de valor, observando os processos, o planeamento e controlo das operações de manutenção, bem como outras atividades que podem realmente contribuir com valor ou com diminuição de desperdícios. O valor a criar pela manutenção deve refletir-se na qualidade, conforto e imagem dos serviços prestados pelo edifício. Para tal, deve incutir-se nos trabalhadores da manutenção a constante necessidade de melhorar o desempenho, melhoria contínua dos processos, zero avarias, zero acidentes, zero paragens do serviço, redução de tempos, redução de custos e aumento sustentado da eficiência das operações.

3.3.2. Agile

As organizações necessitam de proceder a mudanças organizacionais por forma a responderem mais adequadamente às tendências e solicitações dos mercados, ao desenvolvimento tecnológico e a satisfazerem um conjunto cada vez mais exigente de requisitos.

Agile representa uma abordagem muito interessante no desenvolvimento de vantagens competitivas face à atual competitividade dos mercados. As organizações necessitam de responder com eficiência e rapidez às necessidades dos clientes. Uma empresa ágil estará numa melhor posição para tirar proveito das oportunidades e responder às rápidas exigências dos clientes. Atualmente, a agilidade é um dos fatores críticos de sucesso no plano estratégico.

Na indústria da produção, a agilidade é uma estratégia eficaz na resposta a clientes cada vez mais exigentes e inconstantes, nomeadamente em países com mercados grandes, bem desenvolvidos e onde os custos de produção são elevados. Nestes casos, as empresas necessitam de corresponder com agilidade e tirar partido dessa vantagem competitiva, em relação a outros concorrentes, fornecendo o mercado com produtos de nível inigualável.

A expressão *Agile Manufacturing* teve origem nos Estados Unidos e resultou de estudos de investigação acerca do desempenho dos sistemas de produção e da competitividade das empresas num mercado global.

A agilidade requer a integração de vários fatores, tais como, tecnologia flexível, equipas de trabalho competentes, conhecimento e estruturas organizacionais de gestão que promovam e estimulem iniciativas cooperativas entre as empresas.

Ser ágil significa literalmente mover-se com facilidade. No contexto de *Agile Manufacturing*, ser ágil é responder rapidamente aos requisitos de um mercado em constante mudança. Assim, para a empresa ser ágil tem de ter:

- Capacidade para desenvolver estratégias;
- Capacidade de rapidamente introduzir no mercado produtos ou serviços inovadores;

- Ser capaz de dar resposta ao mercado e aos clientes;
- Operar com um sistema produtivo reconfigurável e adaptável à mudança e dinâmica do mercado;
- Responder com qualidade total;
- Cumprir requisitos normativos e regras de segurança.

Para que uma organização responda ao mercado de forma ágil e garantir vantagem competitiva, pressupõe que todos os seus processos detenham agilidade. Inclusivamente, o processo de manutenção, que deve assegurar o funcionamento eficiente de todo o sistema produtivo ou para a prestação de serviços. Esses mercados exigem respostas inovadoras por parte dos sistemas produtivos, nomeadamente, a redução dos prazos de entrega, a redução do ciclo de vida, a entrega pontual, a qualidade e o preço, entre outros. A manutenção é uma função essencial dentro da empresa, para assegurar a sobrevivência e para garantir o seu sucesso no mercado.

Luxhoj *et al.* (1997) referem que é vital que a gestão da manutenção seja integrada com estratégia corporativa para assegurar a disponibilidade dos equipamentos, a qualidade dos produtos, as entregas no prazo correto e a preços competitivos. Estes autores apontam *Agile Manufacturing* como um conceito inovador que requer o melhor desempenho da gestão da manutenção e também a contribuição de uma manutenção ágil para alcançar as principais vantagens em termos de custo e de serviços. Além disso, a melhoria contínua de uma manutenção ágil permite tempos de resposta rápidos e disponibilidade dos equipamentos.

Baptista *et al.*, (2011) referem ser fundamental não descurar aspetos como a agilidade da equipa de manutenção, de forma a obter uma resposta rápida e eficiente face a alterações inesperadas do sistema produtivo ou naturalmente de um serviço.

As equipas de manutenção ágeis terão de ter a capacidade de se adaptar a circunstâncias imprevisíveis. A capacidade para responder rapidamente pode ser conseguida através de processos de cooperação, quer internos, quer externos aos serviços de manutenção ou à própria empresa. Essa cooperação pressupõe a partilha de informação e conhecimento.

Uma estrutura *Agile* é capaz de responder adequadamente às solicitações de trabalho que possam surgir de forma imprevisível ou inesperada. Uma manutenção com capacidade técnica e dotada de informação e conhecimento terá, sem dúvida, melhores faculdades para atuar com agilidade e assegurar o processo de manutenção numa organização que pretenda permanecer competitiva no mercado.

O paradigma *Agile* fornece o conceito de reação rápida e hábil de “atores” prevenidos com conhecimento, detentores de capacidade técnica e experiência em práticas e métodos adequados para dar respostas eficientes às ocorrências, sendo adaptáveis e flexíveis a alterações imprevistas.

A gestão da manutenção deve contribuir de forma ágil na integração das práticas adequadas para o melhor desempenho das operações de manutenção, no sentido de assegurar o melhor estado e funcionamento dos edifícios, potenciando uma boa imagem, conforto aos seus residentes e/ou utentes, com o mínimo custo possível.

Constata-se também que os processos na base de uma filosofia *Lean*, para além de contribuírem para a redução de desperdícios e custos, dão também mais agilidade às organizações, nomeadamente no processo de tomada de decisão. A manutenção *Agile* deve recorrer a metodologias para apoio na tomada de decisões estratégicas que permitam a melhor aptidão dos ativos físicos para o alcance dos objetivos de negócio das organizações. Neste âmbito, também a filosofia *Lean* e as práticas TPM contribuem para a agilidade da manutenção e da gestão das suas atividades.

O termo *Lean* é geralmente considerado como um precursor para o *Agile*. As práticas *Lean* são também facilitadoras na obtenção de processos *Agile*. Por exemplo, a eliminação de desperdícios e tempos de retrabalho, a otimização de tarefas e processos, e uma cultura de melhoria contínua, são bases que potenciam a agilidade. Basicamente, o conceito *Agile* enfatiza a ideia de rapidez, habilidade e adequação face a uma alteração de estado. Por seu lado, o conceito de *Lean* enfatiza a ideia de estabilidade, previsibilidade e eficiência.

O conceito *Lean* está, em certo sentido, associado à eficiência de toda a estrutura da manutenção e o conceito *Agile* à responsabilidade da mesma. Os dois conceitos não são portanto antagónicos mas antes e fundamentalmente complementares. A adoção de procedimentos ou técnicas de trabalho inadequadas nas tarefas de manutenção dos ativos provocam desperdícios de recursos, de tempo e conseqüentemente custos. Os tempos de espera devido à organização ineficiente das atividades da manutenção a efetuar correspondem a desperdícios. As movimentações desnecessárias em ações de manutenção que não foram programadas devidamente são desperdícios de tempo e de esforço das equipas de trabalho. As atividades de manutenção preventiva, que não são devidamente planeadas e programadas, contribuem normalmente para a ineficiência das equipas de manutenção e conseqüentemente com desperdícios de tempo e recursos. Além disso, somam-se todos os desperdícios da produção, devidos à não prontidão e/ou causados pela ineficiência da manutenção. Portanto, a manutenção deve ser ágil dando resposta e evitando todas estas penalizações de desperdício. A agilidade na gestão da manutenção contribui para a eficácia das equipas, para a redução de custos nas operações e permitirá uma maior disponibilidade e fiabilidade dos ativos.

A agilidade detida pela manutenção proporciona mais qualidade dos serviços prestados por uma instalação, nomeadamente se a rapidez for conciliada com a eficácia com que os trabalhadores da manutenção executam as suas tarefas. A não otimização das operações de manutenção, que normalmente conjuga o planeamento e a calendarização das atividades, prejudica a eficiência do processo dessa manutenção. Neste contexto, a organização deve empenhar-se na implementação de modelos e metodologias de trabalho que apoiem a gestão na otimização, e dirigir esforços focados na componente operacional para análise de condições de melhoria no processo de

manutenção. A adoção de uma filosofia *Agile Maintenance* pressupõe a implementação de práticas e medidas, também num processo de melhoria contínua, cujo sucesso depende do empenho de toda a organização, desde o pessoal da manutenção até à gestão de topo.

A manutenção deve ter uma visão estratégica na implementação de medidas que potenciem a agilidade, caso contrário, todo o esforço pode ser considerado um desperdício. A agilidade da manutenção deve, também, ir ao encontro dos objetivos do negócio da organização.

A manutenção ágil é também aquela que gere as oportunidades para intervenções de melhoria, alteração, substituição, remodelação total de sistemas ou instalações em função das vagas (janelas temporais) por forma a proporcionar maior disponibilidade e melhor qualidade dos meios de produção. Neste âmbito, a manutenção oportunista é um conceito que deve ser adotado como forma de agilizar as operações da sua responsabilidade ou nas quais, pelas suas competências, tem que participar.

Devem ser promovidas ações de formação com o objetivo de habilitar os colaboradores com os conhecimentos técnicos adequados ao tipo de equipamentos e tecnologia com que a manutenção do edifício se envolve. O pessoal da manutenção tem de ter formação adequada na área das suas intervenções e dominar as práticas para poderem ser rápidos nas operações.

Uma manutenção *Agile* deve ter capacidade de rapidamente conduzir as suas atividades e operações para responder a ocorrências e alterações nos equipamentos e sistemas de modo a satisfazer as necessidades dos clientes. Em termos gerais, pretende-se uma manutenção *Agile*, que habilite as equipas de manutenção para uma rápida e eficiente resposta face às ocorrências ou alterações de sistemas ou de utilizações.

Atualmente, uma manutenção *Agile* tem um forte impacto na competitividade nos negócios, pois permite a mobilização dos seus recursos para acompanhar a alteração e evolução da tecnologia, dos materiais, dos mercados e das expectativas dos clientes, face ao serviço prestado.

Machado e Duarte (2010) referem que os principais componentes chave da capacidade *Agile* têm de ser considerados para se ter rapidez, qualidade, flexibilidade e capacidade de resposta.

O principal interesse na manutenção *Agile* é a capacidade e habilidade de uma rápida resposta a uma nova solicitação. O serviço de Manutenção de uma organização deverá ser adaptável às alterações futuras e responder apropriadamente às solicitações.

Para uma manutenção *Agile*, terá de existir uma integração das equipas de trabalho entre parceiros do negócio para permitir novas competências, de modo a responder a rápidas alterações. As parcerias e partilhas de conhecimento, numa base de *benchmarking*, podem proporcionar agilidade e rapidez das atuações, e consecutivamente a rápida satisfação do cliente. A integração do pessoal da manutenção em diferentes planos de atuação pode contribuir para a polivalência e conhecimento alargado das instalações, dos equipamentos e das técnicas de

manutenção. A ideia subjacente é a de formação de campo, potenciada no decorrer das tarefas diárias e nos distintos tipos de atividades.

A manutenção mune-se de documentos e informação técnica para deter o conhecimento, as provas, as soluções e a técnica que dão sustentabilidade ao seu trabalho. Neste contexto, as fichas técnicas, os históricos, os registos e/ou relatórios de atuações anteriores, entre outros, são documentos cuja fácil consulta e rigor técnico são um contributo à agilidade das equipas de manutenção em atuações futuras.

A gestão de manutenção *Agile* requer organização para manter a coordenação das suas tarefas, atuações, práticas e um controlo dos serviços prestados e assegurados pelos fornecedores de serviços de manutenção exteriores. Para conferir agilidade, será necessário envolver a coordenação e integração de diferentes aspetos e funções através de conjuntos de competências operacionais, de gestão e de tecnologias de informação.

Os serviços de manutenção são em muito semelhantes às cadeias de abastecimento, com principal atenção para a sua eficiência e eficácia de modo a satisfazer o que é requerido. Ou seja, pretende-se que sejam serviços de excelência, sem falhas e nas quantidades exatas. Deste modo, o que Carvalho e Machado (2009) apontam relativamente às cadeias de abastecimento, poderá ser adaptado à realidade da manutenção. Assim, a manutenção *Agile* depende da satisfação do cliente, da melhoria da qualidade, da minimização do custo, da rapidez ou prontidão para o trabalho, da introdução de novos equipamentos ou tecnologias, do nível de melhoria do serviço, e da redução dos tempos de atuação ou resolução dos problemas.

A globalização da economia impõe aumentos de produtividade e qualidade. O nível competitivo dos mercados atuais exige o incremento de agilidade nas organizações. A imagem e a qualidade do serviço prestado pelos edifícios ao cliente dependem fortemente do desempenho da gestão dos processos de manutenção que lhes é próprio. Cada vez mais, é exigida uma manutenção hábil e competente para assegurar esse desempenho atendendo à crescente complexidade, dimensão tecnológica e exigências funcionais dos edifícios.

O sucesso da manutenção nas organizações depende da sua capacidade de interpretar os problemas e responder com agilidade. Contudo, na procura de agilidade, a manutenção terá sempre de lidar com dificuldades e limitações.

3.3.3. Resilient

Resiliência significa capacidade de superar e recuperar de adversidades. Ou seja, a capacidade de, após um momento de adversidade, conseguir adaptar-se ou evoluir positivamente frente à situação.

Para a Física, resiliência significa a capacidade de um material voltar à sua forma original ou posição, após deformação que não exceda o seu limite de elasticidade, ou seja, readquirir

integralmente as suas propriedades depois de um agente externo cessar a sua ação. Contudo, na prática estas ações suprimem ou acrescentam alguma propriedade.

Para Haldar *et al.* (2012), resiliência é também a capacidade de um sistema retornar ao seu estado original (ou desejado) depois de ser perturbado. Nos últimos anos, o conceito de resiliência tem vindo a ser considerado como um aspeto importante no domínio da investigação sobre catástrofes no seio da indústria da produção e serviços. Nomeadamente, o conceito de *Resilient* tem envolvido estudos e investigações na área das cadeias de abastecimento da indústria (Cruz-Machado e Duarte, 2010; Haldar *et al.*, 2012; Carvalho *et al.*, 2012).

Nos últimos anos, aconteceram muitos desastres imprevistos, incluindo ataques terroristas, guerras, tremores de terra, crises económicas, tsunamis, greves, ataques de vírus a computadores, furacões, tempestades, condições meteorológicas extremas, epidemias, instabilidades políticas, vandalismo, roubos, entre outros. O número de desastres naturais e gerados pelo homem aumentou significativamente nos últimos anos.

Em Cruz-Machado e Duarte (2010) é referido que os mercados de hoje são caracterizados por um elevado nível de turbulência e volatilidade, e quando as maiores ruturas ocorrem, muitas cadeias de abastecimento tendem a romperem-se, levando muito tempo para recuperar. A resiliência pode potencialmente ser uma vantagem competitiva das organizações para responderem mais favoravelmente aos distúrbios, que os concorrentes no mercado.

Segundo Cruz-Machado e Duarte (2010) o paradigma *Resilient* foca como uma organização resiste bem aos distúrbios e como rapidamente retorna ao seu estado normal ou se move para um novo estado desejável (conveniente). Contudo, estes autores referem que é impossível controlar todos os fatores de risco e acidentes que eventualmente podem acontecer.

A resiliência pode ser considerada como uma integração do conceito tradicional de resistência, definido como medida que melhora o desempenho dos elementos de um sistema, para reduzir perdas após uma catástrofe. Porém, enquanto a resistência enfatiza a importância da atenuação pré-catástrofe, o conceito de resiliência estende essas ideias, a fim de incluir também melhorias na flexibilidade e desempenho de um sistema durante e após uma catástrofe (Haldar *et al.*, 2012). Será portanto, possuindo resiliência que um sistema reage contra a ação de um distúrbio ao seu normal funcionamento e/ou recupera após a ação do distúrbio.

Na base destas ideias, a resiliência da manutenção pode ser definida como a capacidade de resposta para reduzir as probabilidades de interrupção dos sistemas (ativos físicos), para reduzir as consequências dessas perturbações após a sua ocorrência e para reduzir o tempo de recuperação dos sistemas a voltarem à normalidade.

A resiliência é também a capacidade da manutenção para lidar com problemas inesperados. Contudo, o conceito de resiliência estende-se para além da agilidade, pois considera a capacidade que a manutenção pode deter para fazer frente a situações disruptivas e distúrbios inesperados nos sistemas.

Para além da agilidade, para permitir respostas rápidas e eficientes no caso de alterações inesperadas dos sistemas produtivos, Baptista *et al.*, (2011), referem que as equipas de manutenção deve também ser capacitadas para dar resposta a eventuais catástrofes ou sobrecargas na utilização desses sistemas. Os autores referem-se à capacidade de resiliência que a manutenção deve deter para assistir e resolver situações disruptivas graves dos sistemas produtivos ou mesmo de instalações na prestação de serviços. Surge assim o conceito *Resilient Maintenance*.

Portanto, a manutenção deve estar capacitada para se adaptar a essas alterações e adversidades, também com capacidade técnica e competência, eventualmente para atuar sob pressão, sendo um suporte face à imprevisibilidade de situações de rutura e problemas que afetam os ativos das organizações. Os distúrbios inesperados podem ser "curados" com ações corretivas de emergência, para as quais, a manutenção deve estar, minimamente, prevenida com o conhecimento para atuar com eficiência e possuir ou facilmente adquirir os materiais necessários. Para deter resiliência, a manutenção deve possuir o inventário suficiente para reagir aos efeitos de rutura, de situações disruptivas e poder recuperar de adversidades.

Uma manutenção *Resilient*, está capacitada para dar resposta a eventuais acidentes, catástrofes ou mesmo sobrecarga dos serviços ou utilização. Será uma manutenção com capacidade de se adaptar a mudanças ou alterações do seu padrão normal de atuação e responder com eficiência na resolução dos problemas causados por acidentes graves.

A manutenção deve tornar-se resiliente para se tornar resistente às adversidades do seu meio. Uma manutenção *Resilient* estará dotada de conhecimentos e meios, e habilitada de procedimentos, intervindo para que os equipamentos e sistemas possam readquirir integralmente as suas propriedades anteriores ou, em caso dessa impossibilidade, retornar ao melhor equilíbrio funcional possível.

Num momento de adversidade num edifício, a devida resiliência das equipas de manutenção permitirá lidar com problemas sob pressão mantendo o equilíbrio das operações necessárias com segurança para os trabalhadores, utentes e/ou intervenientes.

A prontidão e rapidez da manutenção *Resilient* não devem suprimir procedimentos de segurança. Independentemente da situação em que os trabalhos são realizados, a resiliência das equipas de manutenção só é assegurada se não forem descurados os conceitos e normas de segurança inerentes a todas as atividades. Figueira *et al.* (2012) referem que é fundamental um cuidado especial com os fatores humanos perante uma postura *Resilient*. Essas questões devem ser analisadas para evitar problemas de saúde e segurança aos trabalhadores. As organizações devem estabelecer planos na vertente da segurança dos trabalhadores, relacionada com a ergonomia, precauções contra incêndios, proteção de segurança nos equipamentos, formação nos trabalhadores para atuar em casos de emergência, entre outros aspetos do âmbito da segurança, saúde e higiene no trabalho.

O interesse em solucionar e resolver problemas, por parte dos colaboradores, é fator determinante para o aumento da resiliência das equipas de manutenção. Portanto, os fatores humanos que influenciam o interesse e empenho dos colaboradores devem ser assegurados. Com colaboradores interessados conseguem-se melhores desempenhos e aproveitamento do seu trabalho. É importante incentivar os colaboradores, proporcionando ambientes de trabalho adequados e promovendo a sua autoestima no seio das organizações.

O uso de metodologias e ferramentas inovadoras de potencial reconhecido pode estimular os colaboradores a desenvolverem um trabalho de qualidade, alargar horizontes, criar oportunidades e beneficiar as organizações com os seus contributos. A resposta de um colaborador interessado no trabalho que realiza vai refletir melhores resultados no contexto do negócio da organização em que trabalha. A resiliência também se adquire a partir da melhoria contínua do desempenho dos trabalhadores, assegurando condições de manutibilidade dos ativos e instalações, com um adequado e seguro ambiente de trabalho, entre outros.

Seguindo o conceito de *Lean Maintenance*, os tempos dedicados às atividades da manutenção devem ser reduzidos ao mínimo. Contudo, se as ações não corresponderem aos requisitos de manutenção necessária, os equipamentos e instalações podem entrar em rutura. Na integração dos paradigmas LARG, as operações de manutenção devem ser otimizadas para garantir a correta funcionalidade dos ativos.

A suscetibilidade, vulnerabilidade e fragilidade das atuações da manutenção podem condicionar negativamente as funcionalidades dos edifícios, a sua imagem, o conforto e a segurança dos seus utentes. Portanto, a gestão da manutenção deve analisar e ponderar as possíveis catástrofes, acidentes e situações disruptivas dos sistemas e ativos da sua responsabilidade, por forma a prevenir-se com a capacidade técnica, munir-se de ferramentas e equipamentos necessários e prover-se do inventário indispensável. Na base de uma filosofia *Lean*, a posse de sobressalentes em número desmesurado constitui desperdício que não acrescenta valor à organização, pelo contrário, adiciona custos.

A gestão da manutenção deve tomar uma postura estratégica relativamente à sua resiliência, nomeadamente, de acordo com os objetivos e estratégias traçados para o negócio da organização. Uma organização resiliente estará atenta ao mercado em que o seu negócio se insere, terá expectativas e estratégias face à competitividade percebida e aos sinais das mudanças e exigências dos seus clientes. E, portanto, deve antecipar-se continuamente, alterar as suas estratégias, agir proativamente e adaptar-se às novas realidades. Logo, a gestão da manutenção *Resilient* deve, numa perspetiva estratégica, adaptar-se e de forma proativa criar as condições de resiliência necessárias para manter e recuperar os sistemas e ativos da organização face às potenciais adversidades e/ou situações disruptivas. A análise de avarias deve ser uma constante preocupação da manutenção, assim como a eficiência das suas ações corretivas.

Nos casos em que a especialização técnica é exigente, não compensando economicamente deter profissionais altamente qualificados, as ações de manutenção podem ser asseguradas por

fornecedores de serviços exteriores, quer através de contrato para ações regulares, quer através da prestação de serviços pontuais. Neste último caso, deve ser ponderada a flexibilidade na aquisição e/ou contratação desses serviços de manutenção de forma a estar assegurada a resolução de eventuais ruturas nas instalações.

A gestão da manutenção deve medir o seu desempenho no âmbito do paradigma *Resilient* para compreender a sua capacidade de resposta e assegurar a sua eficiência nas situações de adversidade descritas anteriormente. O conceito *Resilient* requer proatividade e pretende que a manutenção não se apegue apenas ao passado, porém, para se fazerem previsões, para acautelar competências e serem tomadas iniciativas é preciso conhecê-lo. A análise do desempenho da manutenção pode contribuir e providenciar o conhecimento para a sua resiliência.

A formação técnica, a experiência acumulada, o treino e a simulação de episódios disruptivos para a manutenção, são aspetos fundamentais e a considerar para a devida resiliência das equipas de manutenção.

Os simulacros partem de uma situação fictícia e, no caso dos edifícios, servem para teste de planos de emergência internos e treino dos ocupantes com vista à criação de rotinas de comportamento e aperfeiçoamento de procedimentos (Caramujo, 2012). A realização de simulacros periódicos, envolvendo a manutenção, deverá ter o objetivo de avaliar a precisão e eficácia das medidas acauteladas e simultaneamente alertar as equipas de manutenção para eventuais alterações, detetar possíveis correções, treinar e melhorar o seu plano de atuação face às situações simuladas.

As "medidas de auto proteção" estabelecidas pelo Regulamento Técnico de Segurança Contra Incêndios em Edifícios (Portaria n.º 1532/2008 de 29 de Dezembro) são um exemplo de medidas legislativas que contribuem para atribuição de aptidão e resiliência na manutenção e segurança em edifícios. Estas medidas de auto proteção vêm exigir a formação e o treino dos utilizadores de determinados edifícios para superar as adversidades face a um possível incêndio. Por exemplo, é necessário dar formação aos funcionários de hotéis de modo a assegurar eventuais atuações em caso de incêndio, disparo de alarmes, parametrização e programação de alarmes, avarias de equipamentos e manutenção dos mesmos, entre outros. De um modo geral, estas medidas de auto proteção são da responsabilidade dos serviços da manutenção.

O paradigma *Resilient* fornece um conceito fundamental para a gestão da manutenção conter, superar e recuperar de adversidades, sendo assim uma vantagem competitiva das organizações para responder mais favoravelmente a situações disruptivas que possam ocorrer, nomeadamente perturbando os serviços prestados e envolvendo as instalações em edifícios.

3.3.4. Green

É expresso por diversos autores que as organizações estão a tornar-se conscientes das questões ambientais e do aquecimento global. O paradigma *Green* começou a ser adotado nas

organizações com o crescimento do movimento ambientalista, particularmente com o consenso global acerca do impacto humano nas alterações climáticas.

Cada vez mais os consumidores questionam sobre o quanto *Green* é o processo de fabrico dos produtos que estão a adquirir ou do serviço de que estão a usufruir. Machado e Duarte (2010) referem que, por este motivo, há uma crescente necessidade de integrar ambientalmente as práticas das cadeias de abastecimento à indústria da produção. Contudo, embora o foco seja tornar os sistemas produtivos e serviços mais *Green*, Machado e Duarte (2010) consideram que os objetivos de visibilidade, eficiência e redução de custos não devem ser rejeitados.

O paradigma *Green* há muito que foi adotado no contexto da manutenção. A manutenção é uma atividade necessária em qualquer instalação e é a forma mais eficaz para manter ou repor o sistema num nível desejado de desempenho. Atualmente, a manutenção tem também a responsabilidade adicional de proteção de instalações, prevenção da poluição, a segurança das pessoas e eliminação de resíduos. Além disso, Ajukumar e Gandhi (2013) mencionam que várias políticas e regulamentações ambientais têm colocado pressão sobre as organizações para operarem, repararem e eliminarem os seus equipamentos de forma ambientalmente amigável.

Green Maintenance (manutenção verde) é um conceito que emergiu como solução para o problema da sustentabilidade ambiental das atividades e práticas da manutenção.

Ajukumar e Gandhi (2013) apresentam a manutenção verde como uma tentativa de tornar a manutenção mais benigna ambientalmente, eliminando todos os fluxos de resíduos associados à sua atividade. Os autores alegam que o planeamento e execução da manutenção devem envolver a integração de questões relacionadas com o projeto e conceção dos equipamentos e instalações, visando minimizar os efeitos prejudiciais ao ambiente, ao mesmo tempo que garante a saúde e a segurança das pessoas envolvidas.

Por outro lado, sempre que possível, as equipas de manutenção devem envolver-se no projeto das instalações com o objetivo de transmitir requisitos de manutenção *Green* possíveis de atribuir como características na fase de conceção. Dessa forma, podem-se avaliar e antecipar os impactos ambientais da manutenção e incorporar considerações *Green* de forma sistemática e eficaz. Para Ajukumar e Gandhi (2013) estes aspetos são significativos, já que o impacto ambiental da manutenção associado aos equipamentos e instalações é decidido principalmente na fase de conceção e secundariamente, pelas políticas e etapas seguintes durante a fase de operação da manutenção. Os projetistas devem, portanto, estar cientes e incorporar aspetos de manutenção *Green*, além das variáveis convencionais de projeto dos equipamentos e instalações.

O sucesso da manutenção *Green* vai além das características dos equipamentos e é também dependente das práticas de manutenção (Ajukumar e Gandhi, 2013). Normalmente, a manutenção tem sob a sua responsabilidade, a maioria dos cuidados ambientais exigidos às organizações. Tanto nas indústrias da produção, como nas organizações de prestação de serviços, o departamento de manutenção é incumbido das questões relacionadas com a eficiência ecológica,

certificação ambiental, racionalização dos consumos de água e energia, gestão da recolha e tratamento de resíduos, controlo de fontes de poluição, estabelecimento de práticas tendentes à redução do risco de fugas de contaminantes e emissões poluentes, entre outras.

Luvras usadas, juntas, retentores, filtros de óleo, mangueiras, óleo e recipientes de massas devem ser depositados em dispositivos apropriados para serem encaminhados para uma reciclagem ou eliminação adequada com as normas ambientais. Os desengorduradores, detergentes e produtos resultantes de limpezas devem ser impedidos de impregnar solos, de verter para esgotos ou sistemas de drenagem de água. Adicionalmente, deve haver um esforço de redução (quantitativa e qualitativa) de resíduos ao selecionar os produtos e os materiais a utilizar, nomeadamente, na seleção daqueles que apresentam ter características menos agressivas para o ambiente, ou cuja reciclagem/eliminação se verifica mais adequada face à tecnologia de tratamento disponível. É importante estabelecer um sistema de gestão de recolha e tratamento de resíduos.

A manutenção *Green* utiliza recursos e práticas ambientalmente recomendadas, procura minimizar a agressividade com o ambiente nas suas intervenções, é empenhada na redução e tratamento de resíduos e prudente no controlo de fontes de poluição.

A manutenção *Green* tem também a responsabilidade de manter o ambiente de trabalho seguro. As reparações têm de ser realizadas de forma segura, com proteção adequada para os trabalhadores de manutenção e para outras pessoas presentes nos locais. A manutenção inadequada e inoportuna pode contribuir para acidentes com consequências nefastas para a saúde humana e meio ambiente. As práticas mais *Green* e a redução de produtos tóxicos contribuem para melhorar as condições de saúde e segurança dos trabalhadores (Figueira *et al.*, 2012). Cada vez mais, estão disponíveis no mercado produtos amigos do ambiente, biodegradáveis e não-tóxicos. A manutenção deve adquirir produtos que têm um efeito menor ou reduzido na saúde humana e ao meio ambiente, quando comparados com produtos concorrentes que servem o mesmo propósito.

Seguindo as rotinas de manutenção preventiva, as incidências requerendo manutenção corretiva ou as atividades de melhoria, a gestão da manutenção deve procurar ser eficaz mas, favorável ao meio ambiente. Preferência por lubrificantes de longa vida de utilização, aquisição de produtos com conteúdo reciclado, produtos ambientalmente preferíveis, produtos de base biológica, equipamentos eficientes no uso da água, conversão para combustíveis alternativos, recorrer a energias renováveis e analisar alternativas aos produtos químicos perigosos, são alguns outros exemplos de recomendações possíveis para uma postura mais *Green*.

Um passo importante, na direção ao objetivo da manutenção *Green*, é a redução de riscos à saúde pública e ao meio ambiente associados à libertação de substâncias, poluentes ou contaminantes, através de:

- Prevenção da poluição;
- Redução ou eliminação de emissões poluentes;

- Aumento da eficiência dos equipamentos;
- Modificação da tecnologia de equipamentos, sistemas e instalações;
- Eliminação de avarias com risco de danos ambientais;
- Substituição de substâncias perigosas, poluentes ou contaminantes com perigo de libertação para o meio ambiente;
- Melhoria dos serviços de limpeza, otimização e controlo do processo;
- Eliminação de resíduos expostos ao ar livre;
- Outros.

Para a manutenção o paradigma *Green*, deverá proporcionar eficiência energética, eliminação ou redução de resíduos, minimização da agressividade com o ambiente nas suas intervenções, redução de custos, poupança de recursos e melhoraria da eficiência ecológica.

Baptista *et al.* (2011) realçam a importância da minimização da agressividade para com o ambiente aquando das intervenções de manutenção *Green*, permitindo obter eficiência energética, bem como a redução de desperdícios.

Um edifício é um sistema com profundas interligações com o ambiente exterior e interior. Está sujeito a um conjunto de interações que são afetadas por modificações sazonais e diárias do clima e por condições diversificadas de conforto exigidas pelos seus ocupantes. Acrescem ainda aspetos regulamentares e normativos também relacionados com o conforto acústico, térmico, iluminação, qualidade do ar, entre outros. E portanto, torna-se necessário encontrar o equilíbrio multidisciplinar dessas exigências com eficiência energética e responsabilidade ambiental. Essa tarefa é normalmente da competência da gestão da manutenção.

A utilização dos edifícios (operação e exploração) tem um grande impacto sobre o ambiente. Uma das principais componentes desse impacto resulta do consumo energético que lhes está associado. Segundo Coias e Fernandes (2007), em Portugal, mais de 28% da energia final é consumida nos edifícios, sendo que estes consomem mais de 60% da energia elétrica.

Toda a manutenção tem um impacto ambiental, algumas com intervenções que resultam num maior consumo de energia e CO₂ relativamente a outras. Para Foster *et al.* (2011), o modelo conceptual para a manutenção *Green* em edifícios concentra-se sobretudo nessa área, com a finalidade de compreender o potencial para reduzir o consumo de energia e as emissões de CO₂.

Um dos principais contributos da gestão da manutenção no âmbito do conceito *Green* é, sem dúvida, a racionalização e gestão dos consumos de energia. A questão da eficiência energética concede vantagens evidentes, nomeadamente, vantagens económicas na eliminação de gastos energéticos desnecessários, e vantagens ambientais na redução das emissões de CO₂ para a atmosfera, diminuindo assim o impacto nas alterações climáticas.

A gestão da manutenção *Green* pode reduzir o impacto ecológico das atividades e utilizações num edifício sem sacrificar a qualidade do serviço, o conforto dos utilizadores, a fiabilidade dos equipamentos e todas as suas funcionalidades. A gestão da manutenção *Green* num edifício envolve todo o tipo de controlo e medição do seu desempenho ambiental que inclui, não só a energia consumida, mas também os detritos produzidos, os materiais perigosos utilizados, os químicos utilizados, a água consumida, combustíveis consumidos, emissões atmosféricas, resíduos perigosos, consumo e poluição da água, entre outros.

Embora para muitos considerada uma função secundária da manutenção, as questões ambientais tais como, a eficiência energética e o controlo de fontes de poluição, são hoje regulamentadas. Para a gestão da manutenção em edifícios o paradigma *Green* deve integrar todas as práticas e atividades de gestão ambiental adaptadas e aplicáveis à realidade do edifício, para a minimização dos danos ecológicos e redução de custos.

A integração simultânea dos paradigmas pode ajudar a gestão da manutenção a tornar-se mais eficiente. O paradigma *Lean* concentra-se na eliminação de resíduos, desperdícios e atividades sem valor agregado para atingir níveis mais elevados de eficiência, rentabilidade e flexibilidade. Alguns desses desperdícios enquadram-se no paradigma *Green*, como é o caso dos desperdícios e/ou excessos no consumo de energia. A gestão de energia é vital para a redução dos custos operacionais e consequente competitividade das organizações. Com a implementação de sistemas de gestão de energia, é possível obter poupanças na ordem dos 15% a 20%, eliminando os desperdícios existentes através de uma abordagem *Lean* (Branco e Nobre, 2014). Na maioria dos casos, são necessários investimentos muito reduzidos, contudo adequados, segundo uma abordagem estratégica face às economias esperadas e com base em níveis de eficiência tangíveis.

A norma ISO 50001 (2011) define os requisitos e orientações necessários para a implementação de um sistema de gestão de energia nas organizações. A norma permite às organizações estabelecer os sistemas e processos necessários para melhorar o seu desempenho energético global. O objetivo da norma é a redução de custos com energia e a redução das emissões de gases com efeito de estufa, bem como outros impactos ambientais relacionados, através de uma gestão sistemática da energia.

É portanto essencial incorporar a gestão energética nos sistemas e processos das organizações. A estratégia energética a estabelecer deverá abranger sempre todas as funções importantes dentro de uma organização e, segundo Branco e Nobre (2014), requer a cooperação e o compromisso de todos:

- A **gestão de topo**, que fornece a liderança e a definição das orientações gerais de finanças e de aquisições, para garantir que são tomadas as decisões apropriadas;
- As **equipas técnicas**, garantindo que as instalações, equipamentos e operações são conduzidos e mantidos de forma eficiente e com o desempenho esperado;

- Os **recursos humanos**, que estão envolvidos para proporcionar a formação necessária e ajudar a gerar uma cultura de consciência energética.

A implementação de um sistema de gestão de energia numa organização permite, não só uma economia energética, mas também conduz a uma vasta gama de benefícios. Adicionalmente, Branco e Nobre (2014) mencionam a redução de recursos, cumprimento dos limites de emissões e outros requisitos legais relacionados com o ambiente, evitando assim sanções e custos acrescidos. Estes autores mencionam que a implementação de sistemas de gestão de energia tem demonstrado também contribuir para a melhoria da eficiência operacional com impacto positivo na produtividade e competitividade das organizações:

- Redução de custos relativos a consumos energéticos;
- Redução de emissão de gases com efeito de estufa;
- Maior transparência nos consumos energéticos;
- Cumprimento dos requisitos legais;
- Otimização técnica e processual dos aspetos energéticos;
- Maior fiabilidade no funcionamento das instalações;
- Maior envolvimento dos colaboradores na eficiência energética;
- Um compromisso de toda a cadeia de valor na otimização e redução de custos.

Outro aspeto também importante, é estimar o desperdício de energia nas próprias ações de manutenção, o consumo de água e o nível de poluição que a manutenção provoca na água que consome.

É fundamental a formação e treino dos colaboradores, informar e incentivar os clientes no sentido de os sensibilizar para questões ambientais e adquirirem conhecimentos e práticas que, aplicadas no dia-a-dia da manutenção proporcionam um ambiente mais *Green*.

CAPÍTULO 4

MODELOS DE APOIO À GESTÃO DA MANUTENÇÃO

4.1. Introdução

Este capítulo faz a apresentação de conceitos, metodologias e práticas consideradas relevantes para a atividade e gestão da manutenção no âmbito da perspectiva de avaliação LARG. Por se considerar que a avaliação da manutenção, nesta perspectiva, deve recorrer à utilização de metodologias adequadas e bem adaptadas aos sistemas reparáveis da sua responsabilidade, procurou-se dar ênfase a algumas metodologias consideradas mais relevantes, para que os gestores da manutenção, com a sua aplicação, consigam otimizar os valores obtidos da avaliação LARG.

Os desafios atuais colocados à liderança e à gestão da manutenção nas organizações, requerem respostas consistentes e eficientes para o sucesso nos mercados extremamente competitivos. A manutenção deve recorrer a modelos de trabalho inovadores que impulsionem as suas atividades com versatilidade e com soluções, nomeadamente, para problemáticas relacionadas com as exigências e necessidades funcionais, complexidade e dimensão tecnológica dos edifícios e/ou grandes infraestruturas. À gestão da manutenção incumbem-se responsabilidades, no seu bom desempenho, para assegurar as funcionalidades e atributos dos ativos físicos de uma atividade ou negócio.

É referido por alguns autores que, a implementação de filosofias à gestão da manutenção não é, normalmente, um processo fácil nem rápido, devido à resistência que o ser humano tende a apresentar em relação à mudança. A integração de novos modelos numa organização só faz sentido, se a importância da sua adoção for compreendida pela gestão de topo, pois é esta que define o rumo a tomar, as estratégias a seguir e tem o poder para decidir se devem, ou não, ser investidos esforços na implementação dessa metodologia.

O capítulo aborda várias matérias centradas no apoio ao processo de manutenção e que podem ser implementadas para dar respostas na integração dos paradigmas LARG. Na implementação de uma gestão da manutenção LARG é necessário equacionar as metodologias, modelos e práticas que melhor se adequam no contexto do negócio da organização.

Descrevem-se alguns aspetos conceituais sobre metodologias que, embora já sejam bastante divulgadas, merecem a sua atenção no enquadramento com o conceito da gestão da manutenção LARG. A literatura é extensa e, por esse motivo, procuraram-se as contribuições de maior

destaque nas matérias abordadas e aquelas que, contemporaneamente, têm fornecido mais desenvolvimentos e inovação.

O capítulo apresenta ainda o tema BIM (*Building Information Model*) enquadrando-o como modelo inovador e abrangente na resposta às necessidades técnicas, económicas e ambientais da manutenção em edifícios e que proporciona a gestão das suas práticas em adequação com os conceitos LARG.

Nesta investigação, é aqui incluída uma abordagem à metodologia BIM de gestão da informação no projeto para a construção, operação e manutenção de edifícios. Trata-se de uma matéria atual e alvo de investigações recentes. Os contributos e benefícios desta metodologia para o desempenho da manutenção são ainda pouco consistentes, contudo promissores e, por esse motivo, deu-se uma especial atenção aos desenvolvimentos e contribuições científicas. O capítulo pretende abordar esta matéria com o objetivo principal de evidenciar os possíveis contributos do BIM na gestão da manutenção em edifícios. Este estudo permitiu a integração desses contributos na modelação da gestão da manutenção LARG em edifícios.

4.2. TPM - Total Productive Maintenance

A manutenção é hoje encarada como uma função, que sendo otimizada, poderá contribuir cada vez mais para os resultados da atividade das empresas. No contexto da gestão da manutenção industrial, têm sido desenvolvidas técnicas e filosofias com o objetivo de otimizar a utilização dos recursos, aumentando o potencial efetivo dos meios de produção. Segundo Dias *et al.* (1999), a gestão da manutenção deve ser entendida não como uma obrigação dos serviços de manutenção das empresas, mas como uma atividade essencial para o aumento da qualidade e produtividade. Neste âmbito, surge a filosofia denominada por Manutenção Produtiva Total (TPM – *Total Productive Maintenance*). Seiichi Nakajima foi o “pai” desta filosofia, aplicando-a inicialmente no Japão. O TPM teve enorme influência no progresso económico verificado na indústria japonesa desde finais dos anos 70.

Na década de 1950, após a Segunda Guerra Mundial, as teorias americanas de manutenção preventiva e produtiva foram adotadas pelos japoneses na gestão industrial. O conceito de manutenção produtiva era caracterizado pelo desenvolvimento de técnicas de manutenção preventiva sistemática para melhorar a fiabilidade dos equipamentos.

Na década de 60 foi criado o prémio de excelência em manutenção produtiva (PM - *Productive Maintenance*), pela Associação Japonesa de Manutenção e é fundado o JIPE (*Japan Institute of Plant Engineers*), que mais tarde se tornaria no JIPM (*Japan Institute of Plant Maintenance*).

O termo TPM foi utilizado pela primeira vez no Japão no final dos anos 60. A palavra “*Total*” significa o envolvimento de todos os empregados, com o propósito de atingir o menor número possível de acidentes, defeitos e avarias. A empresa Nippon Denso, fabricante de componentes elétricos no Grupo Toyota, implementou o TPM pela primeira vez no Japão em 1971. Esta

empresa, por ter conseguido excelentes resultados, recebeu o prémio de Melhor Indústria PM pelo JIPM. Segundo Cruz (2009), o TPM é uma marca registada do JIPM.

De acordo com Carrijo e Lima (2008), o TPM foi largamente adotado nas indústrias de montagem dos setores automóvel, eletrodomésticos e fabricantes de componentes eletrónicos. O TPM cresceu rapidamente e foi introduzido também nas indústrias de processos contínuos, como refinarias de petróleo, químicas, aços, alimentos, cerâmicas, cimenteiras, papel, farmacêuticas, metalúrgicas, vidros, pneus e impressão. Estes autores referem que existem três fortes razões para a popularidade do uso do TPM no Japão: o alcance expressivo de resultados excepcionais nas operações; a melhoria do ambiente na fábrica e a possibilidade de obter o prémio PM, concedido anualmente pelo JIPM para as empresas que se destacam na utilização do TPM.

Vários autores referem que os métodos e técnicas do TPM têm sido disseminados pelo mundo de forma surpreendente, tal como a sua implementação e os resultados obtidos. Para Nakajima (1988), o TPM pode melhorar o rendimento global das instalações, graças a uma organização baseada no respeito à criatividade humana e com a participação geral de todos os empregados da empresa.

Os conceitos, as técnicas e a metodologia de trabalho no TPM derivam da manutenção preventiva, originalmente concebida nos Estados Unidos, e são basicamente voltados para a obtenção da eficácia operacional dos processos de produção (Cardoso, 1999). O TPM, através da melhoria contínua, da eficácia total dos equipamentos, com a participação ativa dos seus operadores, constituiu a nível mundial, excelente ajuda para a análise e superação de problemas de produção. O TPM e os conhecimentos em termos de eficiência de produção foram então propagandeados por consultores japoneses a viajar pela Europa e resto do Mundo. Atualmente é a filosofia mais discutida na Europa, que tem como objetivo a redução dos custos de produção. É uma filosofia internacional, ou seja, originária do Japão mas adaptada à cultura ocidental.

O TPM é uma ferramenta que teve a sua origem na indústria do Japão, face ao ambiente económico competitivo das organizações, com o objetivo de manter os equipamentos em excelentes condições, minimizando todos os desperdícios a eles associados sem redução da qualidade. Desperdícios gerados por falhas de equipamentos têm que ser totalmente eliminados. Correia (2007) refere que a crescente necessidade das organizações em adotar processos mais *Lean* obriga a um cuidado adicional com a manutenção dos equipamentos. Qualquer implementação de TPM começa por eliminar os principais problemas, nomeadamente identificar todos os itens dos equipamentos que originam perdas e problemas para que estes possam ser eliminados. Uma importante particularidade do TPM é reconhecer que os problemas existem, e envolver os colaboradores na resolução dos mesmos para garantir o envolvimento de todos, aumentando o sentimento de pertença dos operadores. Para Correia (2007), resolvendo os problemas seguimos o percurso da melhoria contínua para atingir uma maior eficiência nos equipamentos.

O TPM é, portanto, uma filosofia de manutenção cujo objetivo é o contínuo melhoramento, estando subjacente a colaboração entre equipas dentro da empresa. Tsang e Chan (2000)

referem que a implementação do TPM implica uma mudança radical na cultura organizacional das empresas, nomeadamente, uma redefinição de regras nas operações da produção e da manutenção. Neste contexto, são vários os autores a referir a necessidade de obter a motivação e a participação dos colaboradores, em todas as funções da empresa, eliminando o dualismo entre produção e manutenção. Smith e Hawkins (2004) acrescentam que o TPM é baseado na manutenção proactiva e envolve todos os níveis e funções da organização, desde os executivos de topo até aos colaboradores do nível mais baixo da hierarquia.

A metodologia TPM assenta sobretudo no estabelecimento de um sistema global de Manutenção Produtiva com objetivos que maximizem a eficácia da instalação, devendo para tal obter o envolvimento de todos os elementos da empresa e a todos os níveis. A aplicação do TPM permite à empresa melhorar e aumentar a sua produtividade tal como a sua qualidade de forma notável.

O TPM é bastante semelhante ao TQM (*Total Quality Management*). Muitas das ferramentas, como a autonomia dos funcionários, polivalência, fiabilidade humana, *benchmarking*, controlo estatística, cartas de controlo, análise de tendência, diagramas de causa-efeito, entre outras, usadas no TQM, são usadas também para implementar e otimizar o TPM.

A metodologia TPM tem provado ser eficaz para a otimização da eficiência e disponibilidade dos equipamentos, na eliminação de avarias e de todo o tipo de desperdícios que contribuem para o aumento do custo da produção (produtos e serviços). Atualmente, as vantagens da implementação do TPM são reconhecidas e este envolve os processos industriais de praticamente todo o mundo.

O método TPM tem vindo a contribuir para a inovação de conceitos de manutenção, os quais com o intuito de assegurar o potencial e eficiente aumento de vantagens para a produção.

Na última década do século XX, surge um novo termo, Manutenção *Lean* (*Lean Maintenance*), que segundo Smith e Hawkins (2004), os seus princípios são também estabelecidos no TPM. A Manutenção *Lean* surge a partir da Produção *Lean* (*Lean Manufacturing*) onde se aplicam algumas técnicas de novos conceitos de TPM para uma implementação mais estruturada.

Com a filosofia *Lean* procura-se eliminar todas as formas de desperdícios nos processos produtivos, incluindo os desperdícios nas operações de manutenção. Tal como o próprio termo sugere (manutenção magra), pretende-se que a manutenção seja desprovida de tudo aquilo que lhe possa ser dispensável, logo, há que analisar e implementar modelos de trabalho que possibilitem eliminar os desperdícios materiais, de tempo e custos. A otimização da função manutenção permitirá aumentar o tempo disponível da manutenção para a melhoria e reduzir os defeitos que causam indisponibilidade na produção. Assim, a redução de custos e a melhoria da produção são resultados imediatos por se terem estabelecido operações de manutenção *Lean*.

De um modo geral, os autores que se debruçam sobre esta temática da manutenção *Lean*, procedem à apresentação dos seus estudos com suporte direcionado para a indústria da produção. Nesta investigação, o conceito *Lean* é integrado aos conceitos *Agile*, *Resilient* e *Green*, promovendo uma inovadora filosofia, a manutenção LARG. Este novo conceito fornece uma

abordagem mais abrangente e holística à manutenção, nomeadamente, no âmbito da gestão da manutenção de ativos físicos em edifícios e grandes estruturas. Este tema foi já desenvolvido no Capítulo 3 desta dissertação.

A manutenção em edifícios tem particularidades específicas em relação à manutenção na indústria da produção, tal como já referidas no Capítulo 1. No entanto, em ambos os casos é requerido o melhor desempenho da gestão da manutenção com o objetivo de maximizar a fiabilidade e a disponibilidade dos ativos físicos, de garantir a qualidade do produto ou serviço ao cliente final, de otimizar custos e assegurar que tudo é realizado com segurança para pessoas, bens e meio ambiente.

As metodologias e práticas TPM podem ser implementadas para proporcionar um melhor desempenho dos serviços de manutenção em harmonia com o conceito *Lean* e, que de alguma forma, beneficiam aspetos correlacionados com os restantes paradigmas (*Agile*, *Resilient* e *Green*) do modelo de manutenção LARG.

4.2.1. Implementação de metodologias TPM

De uma forma geral o TPM é constituído por 8 pilares fundamentais (Figura 4.1), com o objetivo de reestruturar a cultura corporativa através da melhoria dos recursos humanos e dos equipamentos. Isto é, melhorar o funcionamento das instalações e equipamentos através da melhoria de competências dos recursos humanos, capacitando-os para responder a novas necessidades.

Originalmente, a filosofia TPM, ou técnica de Nakajima, baseava-se apenas em cinco pilares fundamentais. Contudo, sofreu algumas adaptações necessárias a outras realidades, aos métodos e culturas de outros países, diferentes indústrias, assim como por mera proliferação ideológica de outros autores. Atualmente, o TPM é difundido com a inclusão dos oito pilares de sustentação, tal como mostra a Figura 4.1.

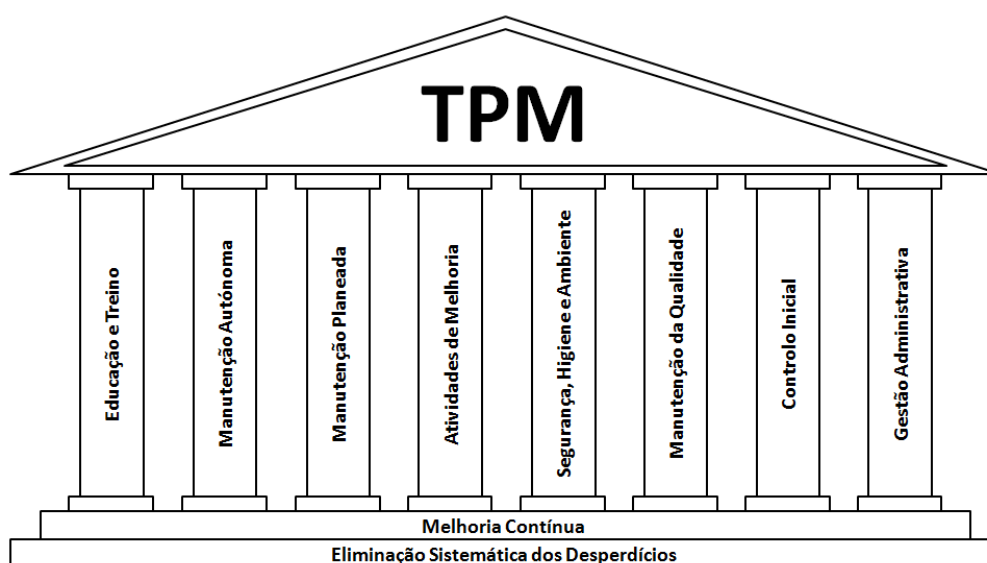


Figura 4.1 – Pilares fundamentais do TPM

Na implementação da filosofia TPM devem ser seguidos os seus pilares fundamentais. Estas matérias são divulgadas por diversos autores. Os conceitos sustentados por cada pilar TPM, seguem fundamentalmente as definições e reflexões que se seguem:

1) Educação e treino:

No TPM, nenhum dos pilares será bem sucedido se os colaboradores da empresa não estiverem em constante aprendizagem. A educação e treino têm como objetivo aperfeiçoar a habilidade de todos os colaboradores, contribuindo para a melhoria do desempenho da organização. É necessário dar a formação necessária e adequada às funções de cada colaborador. No entanto, a partilha de informação entre os colaboradores no próprio local de trabalho também é importante. Os colaboradores mais experientes devem transmitir os seus conhecimentos, durante o trabalho ou em ações de formação interna que a gestão de topo deve promover. Estas iniciativas funcionam também como fontes de motivação entre equipas de trabalho.

2) Manutenção autónoma

A habilidade dos operadores deve ser contemplada pelos princípios “*Jishu-Hozen*”, termo japonês que significa manter o equipamento pelos próprios meios, manutenção autónoma. Este termo é utilizado para descrever as atividades de manutenção executadas pelos operadores na produção. Os operadores devem ser capazes de realizar pequenas tarefas de manutenção, libertando assim o pessoal especializado em manutenção para que utilizem o seu tempo em atividades e reparações técnicas de maior valor. Todavia, este pilar não se aplica apenas à indústria da produção. Se os colaboradores da empresa conhecerem os equipamentos com que trabalham podem realizar pequenas reparações, ajustes e propor melhorias no sentido de reduzir ou eliminar perdas e melhorar a produção.

Uma postura TPM pressupõe alguns princípios essenciais quanto à habilidade dos colaboradores da organização para uma melhoria na manutenção. Os próprios operadores dos equipamentos ou sistemas devem estar habilitados e atentos para verificar o seu estado diariamente. Pequenos problemas com os equipamentos podem ser reparados no imediato com o próprio apoio dos operadores. Por outro lado, algumas tarefas devem ser planeadas para serem executadas periodicamente por pessoal especializado.

3) Manutenção planeada

A manutenção deve ser planeada e otimizada, para que o maior esforço da manutenção deva ser na perspetiva proativa e não numa postura reativa. Esta premissa tem o objetivo de melhorar a fiabilidade e disponibilidade dos equipamentos, assegurar os materiais e peças sobressalentes e reduzir custos com uma manutenção mais adequada para os equipamentos.

Engenheiros e técnicos da manutenção devem estar habilitados para executar planos de manutenção preventiva para atingir os objetivos de “zero avarias”, “zero defeitos” e “zero acidentes”. Deve existir um controlo das atividades de manutenção preventiva para permitir aferir se os planos e programas na prática se encontram otimizados às tarefas de manutenção necessárias.

4) Atividades de melhoria

O objetivo deste pilar consiste, fundamentalmente, em indicar as perdas dos equipamentos e dos processos da organização. As perdas identificadas devem, de forma sistemática, ser analisadas, compreender as causas e os problemas em seu torno, estudar soluções e planejar as ações de correção e atuar da forma planeada até à sua extinção.

As atividades de melhoria compreendem também, aumentar a eficiência total e a performance dos equipamentos e instalações existentes, e considerar as suas melhorias no desenvolvimento de novas instalações e equipamentos, para minimizar os desperdícios a eles associados.

5) Segurança, higiene e meio ambiente

Neste pilar, as preocupações centram-se na saúde e higiene no trabalho, na prevenção de acidentes pessoais e ambientais. O objetivo é identificar e eliminar as condições e atos inseguros que possam incorrer em incidentes ou acidentes, porventura graves.

As condições inseguras referem-se a questões físicas que podem causar acidentes e que podem ser eliminadas através de reparações ou melhorias, nomeadamente, com a instalação de proteções, avisos ou sensores de proteção.

Normalmente, os atos inseguros referem-se a incumprimento de regras ou normas. Nestes casos, as ações a desenvolver devem baseiam-se essencialmente em programas de consciencialização dos colaboradores e/ou ações de formação.

6) Manutenção da qualidade

As atividades neste pilar visam garantir a qualidade dos produtos no processo produtivo, para se atingir a meta dos “zero defeitos”. As condições em que os ativos físicos operam, influenciam de forma significativa a qualidade dos produtos (ou serviços).

A manutenção deve promover o levantamento dos defeitos dos produtos, identificar os equipamentos que geram os defeitos e diagnosticar a respetiva causa. Devem ser corrigidas as anomalias e/ou proceder a melhorias específicas para eliminar as perdas.

O âmbito deste pilar também pode ser aplicado para os casos das empresas que fornecem serviços, como é o caso de negócios com a utilização de edifícios (hotéis, centro comerciais, hospitais, aeroportos, entre outros). Nestes casos, a manutenção deve zelar pela qualidade do

serviço prestado e, portanto, os equipamentos devem proporcionar a qualidade desse serviço de acordo com as exigências e expectativas dos clientes. Para a identificação de potencial “não qualidade” no serviço, a manutenção deve analisar as reclamações de insatisfação dos clientes e proceder às devidas investigações das causas.

7) Controlo inicial

Constata-se que muitas das perdas dos processos produtivos derivam de deficiências ou imperfeições nos projetos dos equipamentos. Verifica-se também que, as deficiências funcionais de instalações técnicas e equipamentos em edifícios, resultam muitas vezes de erros cometidos em projeto e/ou negligência na fase de montagem.

A manutenção deve, sempre que possível, participar na análise dos projetos de equipamentos ou novas instalações, antes dos mesmos se concretizarem. O principal objetivo é analisar a facilidade das operações de manutenção (condições de manutibilidade), sugerir alterações e especificações técnicas, garantir o cumprimento de normas de segurança e preservação do ambiente, alertar para possíveis avarias e custo de ciclos de vida.

A manutenção deve também acompanhar a fase de montagem dos equipamentos e novas instalações para confirmar a adequação com o projeto, detetar inconformidades e deter o conhecimento das condições reais como a montagem foi realizada. Nesta fase, deve ser garantido que toda a documentação relevante é fornecida. O controlo inicial compreende as etapas desde a especificação até à entrega dos ativos para operação plena.

Neste pilar é analisado todo o ciclo de vida dos equipamentos numa abordagem de terotecnologia. A terotecnologia é uma conceção global e integrada do modo como deve ser estudada, escolhida e construída uma nova instalação tecnológica.

8) Gestão administrativa

Aqui o objetivo é melhorar a eficiência e eliminar as perdas dos processos administrativos da organização.

O trabalho da área administrativa também pode ser realizado de forma mais rápida e com mais qualidade. Neste âmbito, sugere-se a formação de pequenos grupos de trabalho com a missão de definir quais os processos e a forma de medir a sua eficiência e perdas. Estes grupos devem analisar as funções e tarefas executadas internamente, de modo a detetar aquelas que possam ser eliminadas ou melhorar a forma de as executar.

O passo seguinte é estender o conceito ao exterior, ou seja, a fornecedores, distribuidores ou mesmo clientes, com o objetivo de se alcançarem menores tempos para a entrega, melhor qualidade, com menores custos, redução de danos durante o transporte, armazenamento e manuseamento e, uma distribuição sem atrasos.

Correia (2007) sintetiza alguns pontos fundamentais na competência dos recursos humanos para se atingirem os objetivos do TPM:

- Capacitar os operadores para realização de procedimentos básicos de manutenção nos equipamentos, com o objetivo de prevenir avarias;
- Aumentar a polivalência das equipas de manutenção;
- Capacitar a engenharia de processo para desenvolverem princípios que permitam uma manutenção mais facilitada;
- Incentivar sugestões para modificações dos equipamentos de forma a melhorar o seu rendimento.

Como benefícios expectáveis de uma correta implementação do TPM, Correia (2007) salienta os seguintes pontos:

- Aumento da disponibilidade dos equipamentos;
- Redução de defeitos originados nos equipamentos;
- Menor variação dos parâmetros do processo – estabilidade;
- Menor tempo de resposta a avarias pontuais;
- Os problemas dos equipamentos tornam-se visíveis;
- Eliminação de conflitos entre manutenção e produção;
- Aumento do ciclo de vida dos equipamentos;
- Redução de problemas de *setup*;
- Melhoria do fluxo produtivo;
- Redução dos acidentes;
- Promove a formação e a qualificação.

Em Correia (2007) são também mencionados 5 pontos iniciais para o sucesso da implementação de um programa de TPM numa determinada área a ser intervencionada:

- 1) Determinar as perdas e os principais problemas que estão a afetar os equipamentos e/ou as pessoas que os usam ou que com eles trabalham. É necessária a identificação de todos os itens nos equipamentos que originam perdas e problemas para estes poderem ser eliminados, e fundamental para uma correta distribuição dos recursos. Para o fazer, podem ser utilizadas, por exemplo, ferramentas básicas de qualidade, listas de verificação (identificar falhas) e os gráficos de Pareto (priorizar falhas). Para a correta descrição dos

problemas é necessário uma boa observação no terreno e devem ser claramente enumerados os seguintes pontos:

- O quê, (Em que objeto ou em que situação?);
 - Onde, (Onde no objeto, onde no processo?);
 - Quando, (Quando foi observado pela 1ª vez? Em que turno, dia, hora?);
 - Qual a sua proporção, (Dimensão do defeito, nº de erros, %).
- 2) Analisar as causas raiz dos problemas. É necessário uma estratégia na abordagem aos problemas. Nomeadamente, uma boa prática na indústria é a procura de contraste para posterior utilização das ferramentas de análise de problemas. Por exemplo, perante um problema num equipamento, tentar encontrar contrastes de diferentes comportamentos em período de funcionamento diferentes, em turnos diferentes, em regimes diferentes, em equipamentos semelhantes que têm comportamentos diferentes, etc. A procura de contraste é uma forma de pensar e poder-se-á usar para a análise do melhor dos melhores (BOB – *Best of Best*) e o pior dos piores (WOW – *Wost of Wost*), sendo que será entre estes que existe o maior contraste. Na análise de problemas poder-se-ão utilizar ferramentas como os “5 Porquês” (5 *Whys*) (perguntas consequentes até encontrar a causa raiz do problema) ou “Diagrama de Ishikawa” (também conhecido como “Diagrama de Causa e Efeito”, “Diagrama de Espinha de Peixe” ou “Diagrama 6M”). Podem ainda ser mencionadas outras ferramentas como: A3 (análise profunda numa folha A3), PDCA (*Plan, Do, Check, Action*), 8D (8 *Do* – 8 ações), DOE (*Design of Experiments*), Taguchi e Diagramas de concentração (úteis para análises que envolvam fugas ou desgaste em componentes).
- 3) Definir e implementar as ações corretivas, garantindo uma eliminação das causas raiz. Após a compreensão dos problemas e das suas causas raiz associadas, é necessário definir e implementar ações corretivas para uma eliminação a 100% dos problemas nos equipamentos. Para uma resolução eficaz dos problemas são necessárias ações definidas para as causas e não para os sintomas das causas. Na indústria, na base das decisões de resoluções de problemas, surge uma metodologia com 6 questões, o 5W1H (*What?, Why?, Where?, When?, Who? e How?*).
- 4) Definir novos *standards*. Com a implementação das ações corretivas, torna-se importante padronizar as boas práticas como base da melhoria contínua. A padronização permitirá definir o estado atual dos equipamentos para a aplicação de ferramentas como o KVP2 (*Workshops* de melhoria contínua). Todas as atividades TPM e boas práticas comprovadas devem ser padronizadas.
- 5) Fazer o seguimento das ações implementadas e transferir o conhecimento adquirido para as outras áreas. Os participantes das atividades devem ser motivados para garantir a continuidade e eficácia das ações implementadas, nomeadamente, seguindo a filosofia do

PDCA ou “Diagrama de Ishikawa”, entre outros. As ações ou possíveis melhorias identificadas devem ser partilhadas por todas as áreas.

A postura TPM não se resume à eliminação dos principais problemas. Para a melhoria contínua é fundamental a identificação de melhorias por parte dos operadores, com vista a uma mais fácil utilização e manutenção dos equipamentos. Por exemplo, melhorar a acessibilidade aos equipamentos para facilitar a manutenção autónoma. Uma das metodologias indicadas para a melhoria contínua é o KVP2. Segundo Correia (2007), consiste na utilização de um método estruturado na realização de *workshops* de melhoria contínua, fundamental para conseguir atingir uma maior eficiência dos equipamentos. Outra metodologia é Kobetsu-Kaizen, termo japonês utilizado para as atividades de melhoria executadas com o objetivo de melhorar a eficiência dos equipamentos. “*Ka*” significa mudança, e “*Zen*” significa bom (para melhor). Basicamente, Kaizen aplica-se para pequenas melhorias, mas realizadas de forma contínua e envolvendo todas as pessoas da organização. Kaizen exige pouco ou nenhum investimento. O princípio por detrás é de que “um número muito grande de pequenas melhorias é mais eficaz do que poucas melhorias de grande valor”. Com esta ferramenta procuram-se reduzir perdas no local de trabalho que afetem a eficiência. A adoção de eventos Kaizen consiste normalmente em reuniões de melhoria contínua, por exemplo semanais.

Os problemas não podem ser vistos com clareza quando o local de trabalho está desorganizado. Limpar e organizar o local de trabalho ajuda a equipa a revelar problemas. Tornar os problemas visíveis é o primeiro passo para melhoria.

Para um correta postura TPM é fundamental que os equipamentos e a área a ser intervencionada se encontrem em bom estado a nível de “5S”, cinco passos sistemáticos para a organização do posto de trabalho:

- SEIRI (Organização, Classificação, Arrumação) – Classificar e organizar os itens como críticos (itens importantes, frequentemente usados, devem ser mantidos próximos para uso) ou inúteis (itens que já não são necessários, podem ser guardados). O critério deve ser decidido com base na frequência de utilização e não no custo, assim o tempo de busca fica reduzido. Criar e manter um ambiente limpo, ordenado, eliminar o desnecessário;
- SEITON (Organização, Ordenação) – Tudo o que é necessário precisa de um lugar. Os itens devem ser identificados com nomes e/ou códigos em etiquetas coloridas, nomeadamente, arrumados em prateleiras verticais, onde os itens mais pesados ocupam posições inferiores. Os itens devem ser devolvidos ao mesmo lugar após a utilização, de forma a organizar o local de trabalho;
- SEISO (Limpeza) – Limpar e definir formas de manter a zona limpa. Envolve limpar o local de trabalho, livre de peças, ferramentas, óleos, lixo, etc.;

- SEIKETSU (Padronização, Asseio) – Os funcionários devem decidir em conjunto e estabelecer padrões de comportamento para manter o local de trabalho, locais de passagem e máquinas limpos e organizados. Ajudas visuais podem ser aplicadas para entender e manter os padrões definidos. Implementar procedimentos de limpeza e manutenção regular;
- SHITSUKE (Respeitar, Disciplina) – Considerar a prática dos “5S” diariamente, como um modo de vida, o que também significa "compromisso", cumprir as regras sem exceção. Autodisciplina para os funcionários da organização, seguir procedimentos de trabalho, pontualidade, dedicação à organização, etc. É importante que cada trabalhador siga os pontos anteriores e motive os restantes colegas a cumpri-los. Manter um processo de melhoria contínuo.

A prática dos “5S” é, portanto, uma filosofia que visa incorporar valores de seletividade, organização, limpeza, uniformização e disciplina no local de trabalho. Este deverá ser um dos primeiros métodos a serem implementados nas empresas que pretendam adaptar uma filosofia *Lean* aos seus processos de manutenção.

Contudo, o lema nipónico dos “5S” foi alargado para os “8S” através da experiência europeia, que segundo Cardoso (1999), são adicionados mais três passos sistemáticos para a organização do posto de trabalho:

- SHIKAR/YAROU (Firmeza) – Prosseguir com firmeza, determinação, coesos e unidos;
- SHIDO – Treinar;
- SEISAN – Eliminar as perdas.

A manutenção quando devidamente organizada e programada é um fator de extrema importância para a qualidade, segurança e produtividade das organizações, contribuindo assim, para o desenvolvimento e competitividade das mesmas.

Deve ser reconhecido que a implementação do TPM não é uma solução a curto prazo. É uma jornada contínua, baseada em alterações da área de trabalho e do equipamento, de modo a conseguir-se um local de trabalho limpo, arrumado e seguro através de um processo de alteração de cultura, puxar em vez de empurrar (*PULL* em vez de *PUSH*) (Kennedy, 2006). Kennedy (2006) refere que o tempo necessário para os benefícios do TPM dependem, obviamente e acima de tudo, do nível de relação existente entre a qualidade e as atividades da manutenção e dos recursos vocacionados para introduzir este novo conceito na gestão dos equipamentos.

O TPM é uma metodologia de produção desenhada sobretudo para maximizar a eficiência do equipamento através do tempo total de vida, conseguindo a participação e motivação de toda a força de trabalho. Na vasta bibliografia sobre o tema poder-se-ão encontrar outras ferramentas, metodologias e práticas do TPM, porém bastante direcionadas para a indústria da produção. O

conceito TPM está muito focado nos equipamentos de produção, uma vez que estes têm uma grande influência sobre a qualidade, produtividade, custo, inventário, segurança e volume de produção (Muchiri e Pintelon, 2008).

Para se obter sucesso na implementação do programa TPM, deve existir uma forma de medir como inicialmente se encontravam os processos e comparar com os ganhos obtidos com a implementação do programa. Contudo, as métricas desenvolvidas pela maioria dos autores, relacionam-se com fatores de produtividade e de qualidade. Dois indicadores sobressaem como ferramentas de apoio à gestão da manutenção para aferir a minimização do Custo do Ciclo de Vida útil dos equipamentos (LCC – *Life Cycle Cost*) e a maximização da Eficácia Global dos Equipamentos (OEE - *Overall Equipment Effectiveness*). O TPM tem como meta aumentar a eficiência e eficácia dos equipamentos e maximizar a produtividade. É bastante importante manter os equipamentos a funcionar nas melhores condições possíveis, de forma a evitar falhas imprevistas, perdas de velocidade e defeitos de qualidade. Com a otimização dos custos de manutenção e a melhoria das condições de operacionalidade dos equipamentos ao longo de toda a sua vida útil, consegue-se melhorar a eficácia global, incluindo a eficácia económica.

Muchiri *et al.* (2010) referem que, no âmbito do conceito TPM, outras categorias de indicadores podem ser propostas, nomeadamente, para o controlo operacional da manutenção relacionando horas de trabalho planeadas com horas efetivamente trabalhadas, ordens de trabalho (OTs) executadas com OTs programadas, horas de manutenção preventiva com o total de horas da manutenção, entre outros. Estes autores mencionam que a literatura fornece diferentes maneiras de classificar esses indicadores de desempenho da manutenção. Contudo, alguns indicadores tornaram-se popularmente reconhecidos como vitais para a gestão da função da manutenção num ambiente TPM. Por exemplo, a taxa de avarias, o tempo médio de bom funcionamento entre avarias ou falhas (MTBF – *Mean Time Between Failures*), o tempo médio para reparar (MTTR – *Mean Time To Repair*), a disponibilidade e outros indicadores que relacionam estas métricas com o custo da manutenção.

Os gestores da manutenção necessitam de informação de desempenho para monitorar e controlar os processos e resultados de manutenção, e que forneçam indicação para a melhoria (Muchiri *et al.*, 2010).

Atualmente, na resposta às necessidades técnicas, económicas e competitivas, a um nível mundial sem precedentes, o TPM continua a ser uma ferramenta, uma metodologia e uma filosofia de trabalho que pode auxiliar as organizações para o sucesso dos seus negócios. Diversos autores demonstram que o TPM funciona e pode ser adaptado não apenas na indústria, mas também na construção, manutenção de edifícios, grandes estruturas, transportes, e outras áreas. Se todos os envolvidos num programa TPM fizerem a sua parte, poder-se-ão esperar taxas de retorno excepcionalmente altas, relativamente aos recursos investidos. É preciso não esquecer que o êxito desta metodologia assenta fundamentalmente no fator humano. Só com o envolvimento de todos os colaboradores da organização se consegue implementar o TPM com sucesso.

Bezerra e Tubino (2000) apresentam o TPM como o caminho para assegurar as atividades de manutenção nas melhores condições de segurança, fiabilidade, qualidade e baixo custo em edifícios.

Gonçalves e Mortal (2005) referem que as práticas e conceitos do TPM podem ser adaptados à indústria hoteleira. Estes autores admitem que perante uma postura TPM, poder-se-ão substituir predominantes atuações reativas de manutenção corretiva, que bastante caracterizam a manutenção em hotéis e outros edifícios em grandes estruturas empresariais, pelas atuações pró-ativas de manutenção preventiva.

4.3. RAMS – *Reliability, Availability, Maintainability and Safety*

Segurança, conforto, preocupação com as questões ambientais, aumento da qualidade, cuidar da imagem e prestígio da organização, cumprir a legislação, dar resposta rápida às necessidades do mercado, entre outros, são aspetos que integram os objetivos estratégicos e vitais para a sobrevivência das organizações.

É portanto necessária, uma gestão eficaz dos ativos, evitando as suas falhas ou resolvendo-as o mais rápido possível. As atividades da gestão da manutenção tornaram-se uma área vital no alcançar de muitos dos objetivos enunciados. Sobral (2010) refere que, cada vez mais, se verifica a preocupação por parte da engenharia em otimizar processos e estabelecer novas abordagens na gestão eficaz de ativos, quer se tratem de simples componentes ou de sistemas complexos, quer sejam bens reparáveis ou bens não reparáveis, ou independentemente da fase do seu ciclo de vida. Este autor refere-se a estudos, métodos ou abordagens que integram as características referentes à **Fiabilidade, Disponibilidade, Manutibilidade** dos equipamentos e/ou sistemas e **Segurança** de bens, pessoas e meio ambiente.

Surge assim, o acrónimo denominado RAMS (*Reliability, Availability, Maintainability and Safety*), uma combinação de fiabilidade, disponibilidade, manutibilidade e segurança de funcionamento dos sistemas, e das suas interações. Assis (2010) aponta que este método de abordagem integrada permite estabelecer os compromissos entre diferentes análises às características dos equipamentos, pelo que uma insuficiência detetada em qualquer uma delas pode impedir o alcance dos objetivos dos sistemas.

Sobral (2010) refere que RAMS pode ser caracterizado como um indicador qualitativo e quantitativo do grau de fiabilidade em que o sistema, ou os subsistemas e componentes que integram um sistema, possam funcionar como requerido, estando ao mesmo tempo disponível e sendo seguro.

De acordo com a NP EN 50126 (2000), os objetivos de segurança e de disponibilidade de um sistema em funcionamento só podem ser alcançados se estiverem satisfeitos todos os requisitos de fiabilidade e de manutibilidade e se as atividades de manutenção e de exploração forem controladas ao longo do ciclo de vida do sistema, assim como o meio ambiente em que se insere.

Na investigação de Sobral (2010) são apontadas algumas aplicações de análises RAMS em diversos campos, como no desenvolvimento, teste e avaliação operacional de sistemas de defesa, na integração com análises de risco nos processos de manutenção, com vista à diminuição da frequência de falhas, das suas consequências e custos de manutenção, utilizando igualmente ferramentas relativamente recentes para a sua própria modelação. Alguns dos estudos dirigem-se fundamentalmente à área da manutenção, com o objetivo de redução de custos e/ou riscos.

A aplicação da técnica RAMS traduz-se na utilização sistematizada de uma série de práticas e metodologias complementares, que procuram acrescentar valor a um sistema reparável. Uma abordagem RAMS permite identificar pontos fracos, através da análise da Fiabilidade, Disponibilidade, Manutibilidade e Segurança, nas diversas fases do ciclo de vida dos sistemas. Para tal, é requerido que a informação gerada nas inspeções e intervenções de manutenção aos equipamentos constituam um histórico fidedigno.

Sobral (2010) utilizou a metodologia RAMS na análise de barreiras de segurança de instalações industriais de risco elevado. Com recurso aos conceitos e à filosofia da metodologia RAMS, efetua uma abordagem fazendo uso de técnicas de análise já existentes mas, desenvolve também novas ferramentas de análise às barreiras de segurança. A metodologia apresentada por Sobral (2010) permite determinar a fiabilidade dos equipamentos em causa, tendo em conta as suas especificidades.

Leocádio (2004) apresenta uma abordagem bastante extensa sobre a incorporação RAMS no desenvolvimento de produtos de base tecnológica. A sua análise sistematiza a incorporação RAMS na atividade da empresa “Bombardier Transportation Portugal”, fabricante de veículos ferroviários. Embora no seu estudo não contemple uma análise do ponto de vista quantitativo, apresenta diversas técnicas e metodologias, com recurso a informação RAMS, desde a fase de conceção e design dos veículos ao controlo de qualidade da sua fabricação. Leocádio (2004) descreve ainda como adicionalmente, durante a operação do veículo, é seguido o seu desempenho baseado em índices de Fiabilidade e Disponibilidade, identificando a repetição de problemas e avarias nos diversos sistemas e componentes. É também proposto, em Leocádio (2004), um modelo baseado em RAMS para o ciclo de vida completo dos veículos ferroviários, apontando as fases cruciais do desenvolvimento e produção dos veículos ferroviários: conceção e *design*; ensaios e teste de qualidade à fabricação; operação e manutenção.

4.3.1. Fiabilidade

A Fiabilidade, muitas vezes designada por Análise de Sobrevivência (*Survival Analysis*), constitui um método de análise estatística para estudar as ocorrências e os respetivos tempos dos acontecimentos (Dias, 2002).

De acordo com a norma NP EN 13306 (2007), Fiabilidade é a aptidão de um bem para cumprir uma função requerida sob determinadas condições, durante um dado intervalo de tempo. O

mesmo documento refere ainda que o termo fiabilidade também é utilizado como uma medida de desempenho mas, na sua essência, é sempre uma probabilidade.

Ferreira (1998) define Fiabilidade como sendo a característica dum dispositivo, expressa pela probabilidade de exercer uma função requerida em condições de utilização e por um período de tempo determinado.

Um sistema reparável pode ser avaliado de diversas formas. Essa performance pode ser medida através do número de falhas ou avarias do sistema reparável. Se as falhas ou avarias ocorrerem sem tendência ao longo do tempo, ou seja, se o sistema se comporta como um Processo de Poisson Homogéneo (Dias, 2002) então pode calcular-se a taxa média de falhas ou o seu inverso o MTBF. Este indicador pode permitir o cálculo da fiabilidade considerando a distribuição de Poisson com um número de ocorrências iguais a zero.

4.3.1.1. Modelos de Fiabilidade

Em termos gerais, podem-se considerar dois tipos fundamentais de modelos de fiabilidade: os determinísticos e os estatísticos:

- Os **modelos de fiabilidade determinísticos** (Sobral, 2010) são baseados nas leis de degradação física dos componentes ou sistemas sujeitos a falha ou avaria. É importante conhecer o que dá início ao processo, que condições podem acelerar ou potenciam o seu desenvolvimento, e como estas condições conduzem à falha do componente. Também há que controlar as formas pelas quais se consegue parar ou diminuir a taxa de progressão dos efeitos associados à falha. A aplicação deste tipo de modelos pode prever o comportamento de componentes, com uma certa margem de erro relativamente pequena, contudo, a equipamentos ou sistemas mais complexos, torna-se bastante difícil. Estes modelos não permitem o tratamento simultâneo de vários processos, salvo se houver um modo de falha bem definido e predominante que se sobreponha a todos os outros;
- Os **modelos de fiabilidade estatísticos** podem ser paramétricos ou não paramétricos, consoante se pretenda ou não ajustar uma distribuição aos tempos de falha de uma população homogénea. São modelos de fiabilidade que recorrem ao conhecimento de situações históricas ocorridas num componente ou com um sistema não reparável, através do ajustamento de uma distribuição probabilidade (*AFTM, Accelerated Failure Time Models*). Os modelos não paramétricos não necessitam de especificar a distribuição de probabilidade já que assumem a proporcionalidade das covariáveis envolvidas (*PHM, Proportional Hazards Modelling*). As covariáveis explicativas dos modelos podem ser discretas ou contínuas ou, em situações muito específicas, podem ser dependentes do tempo de vida do sistema no momento da falha ou avaria.

Dias *et al.* (2007) aplicam um modelo tradicional de otimização de custos para modelar o período ótimo de substituição preventiva de componentes com função de risco crescente. A metodologia

utilizada no trabalho recorre à distribuição estatística do tempo de vida dos componentes que, na sua generalidade, podem ser modelados por uma distribuição de Weibull. O caso prático de estudo em Dias *et al.* (2007) refere-se a uma empresa de oleaginosas, onde foi aplicada a metodologia que possibilita associar os custos ao cálculo fiabilístico, permitiu identificar situações em que os custos de manutenção preventiva serão de uma grandeza muito inferior aos custos de manutenção corretiva.

Sobral e Ferreira (2007) apresentam um estudo com o intuito de mostrar a importância do tratamento dos parâmetros reais recolhidos, aplicando uma metodologia, onde se pode estimar a tendência da falha e o momento em que a mesma potencialmente poderá ocorrer. Sobral e Ferreira (2007) recorreram a um programa informático (*RealiaSoft corporation, Weibull ++7*) para simplificação dos cálculos referentes ao desenvolvimento e aplicação da metodologia na análise e tratamento de parâmetros de degradação de um caso real. Os componentes estudados nesta análise foram filtros de ar de um sistema de AVAC. Equipamentos que se encontram, normalmente, instalados em edifícios para garantirem a qualidade do ar interior. O *software* utilizado pelos autores permitiu através de testes de aderência verificar que a distribuição que mais se ajustava à informação contida nos dados de entrada era a distribuição de Weibull a 3 parâmetros, obtidos por sua vez através do teste de Máxima Verosimilhança. É referido também que o *software* específico permitiu comparar resultados analíticos com gráficos. Com o referido estudo os autores (Sobral e Ferreira, 2007) afirmam ter estimado a tendência das falhas e o momento em que as mesmas potencialmente poderão ocorrer.

4.3.1.2. Fiabilidade Humana

Um outro aspeto, de grande importância na área da fiabilidade e gestão do risco e cuja influência é determinante em determinados estudos, é o fator humano e organizacional. Segundo Assis (2010), a fiabilidade humana é uma matéria extensa, alvo de investigações recentes, na tentativa de mudar a ideia estabelecida de que “errar é humano”.

O erro pode ser definido como a falha de um objetivo proposto ou como um desvio em relação a uma norma. O homem desempenha, cada vez mais, um papel importante na interatividade com os sistemas. Para Assis (2010), a fiabilidade de um sistema será o resultado da interatividade homem-máquina. O mesmo autor refere ainda que o erro humano ocorre quando o comportamento humano ou a sua influência sobre um sistema excede os limites de aceitabilidade, contudo, o homem apresenta um grau elevado de variabilidade do seu comportamento.

Para alguns autores o erro humano tem um papel fundamental na ocorrência de acidentes em sistemas críticos. É constatado por Sobral (2010) que a fiabilidade humana (HRA - *Human Reliability Analysis*) pode ser analisada de forma semelhante à análise de fiabilidade dos equipamentos, podendo as falhas ser classificadas, quantificadas e analisadas através de distribuição estatística adequada. Contudo, ao contrário dos equipamentos que sofrem uma degradação ao longo do tempo no cumprimento de uma missão, as falhas humanas podem ser

reduzidas tendo em conta alguns fatores, como a aptidão, o treino, a experiência, ou mesmo a idoneidade humana.

Assis (2010) apresenta os erros humanos classificados em cinco categorias. Assim temos erros por:

- Omissão – não executar tarefa do plano de organização do trabalho;
- Execução – não executar tarefa na forma prevista no plano;
- Derivação – introduzir uma ação não prevista no plano;
- Sequência – executar tarefa em momento que não corresponde ao previsto no plano;
- Atraso – executar a tarefa após o momento previsto no plano.

Segundo Assis (2010) o erro humano pode ser quantificado em termos de frequência, pelo número de erros cometidos em “*n*” solicitações e/ou pelo número de erros cometidos durante um determinado período de observação. A fiabilidade humana pode ser avaliada na fase de aprendizagem, onde apresentará possivelmente uma taxa de falhas decrescente e na fase de execução, onde presumivelmente o comportamento da taxa de falhas será aleatório (Sobral, 2010). Em Assis (2010) é referido também o estudo das probabilidades de erro humano (HEP - *Human Error Probability*), pretendendo perceber o erro humano, suas causas e consequências, com o objetivo de reduzir a sua ocorrência até limites aceitáveis. Normalmente, fatores como o *stress* dos colaboradores nas operações de manutenção, levam à ocorrência de erros que devem ser analisados e corrigidos.

Atualmente, existem várias metodologias para análise da fiabilidade humana. Em Sobral (2010) e em Assis (2010) são referidas algumas metodologias para a quantificação das falhas humanas, tais como:

- TESEO (*Technique for Empirical Simulation of Errors in Operations*);
- HEART (*Human Error Assessment and Reduction Technique*);
- THERP (*Technique for Human-Error Rate Prediction*);
- SHERPA (*Systematic Human Error Reduction and Prediction Approach*);
- CREAM (*Cognitive Reliability and Error Analysis*);
- ASEP (*Accident Sequence Evaluation Program*);
- MPPS (*Maintenance Personnel Performance Simulation*).

O estudo da fiabilidade humana, e conseqüentemente o estudo de uma qualquer metodologia nesta área, considera-se pertinente para a investigação de desempenhos da manutenção. Para uma gestão da manutenção LARG em edifícios eficiente, será importante ponderar a fiabilidade dos meios humanos envolvidos, de forma a anular ou reduzir significativamente a possibilidade de erro nas suas atuações. A influência do erro humano é determinante na eficiência da manutenção que se pretende *Agile e Resilient*.

Pretende-se uma Manutenção *Agile*, que habilite as equipas de manutenção para uma rápida e eficiente resposta às ocorrências ou alterações de sistemas. Uma manutenção *Agile* tem um forte impacto na competitividade nos negócios, pois permite a mobilização dos seus recursos para acompanhar a alteração e evolução da tecnologia, dos materiais, dos mercados e das expectativas dos clientes, face ao serviço prestado. O aumento da fiabilidade humana proporcionará agilidade à manutenção e, conseqüentemente, eficiência nas suas atuações.

Por outro lado, pretende-se uma manutenção *Resilient*, pois num momento de adversidade numa grande estrutura ou edifício, a devida resiliência das equipas de manutenção permitirá lidar com problemas sob pressão, mantendo o equilíbrio das operações necessárias com segurança para os utentes e/ou intervenientes. Uma manutenção *Resilient* está capacitada para dar resposta a eventuais acidentes, catástrofes ou mesmo sobrecarga dos serviços ou utilização. Será uma manutenção com capacidade de se adaptar a mudanças ou alterações do seu padrão normal de atuação. A diminuição da probabilidade de erro humano, ou seja o aumento da fiabilidade humana, contribuirá para uma maior resiliência da manutenção.

4.3.2. Disponibilidade

O termo disponibilidade sugere uma noção de tempo, durante o qual determinado equipamento está disponível para a operação.

De acordo com a norma NP EN 13306 (2007), a disponibilidade é a aptidão de um bem para cumprir uma função requerida sob determinadas condições, num dado instante ou durante um dado intervalo de tempo, assumindo que é assegurado o fornecimento dos necessários recursos externos.

Disponibilidade é a probabilidade de um sistema, segundo condições de fiabilidade e manutibilidade definidas, realizar uma determinada função num instante de tempo ou num período definido.

A indisponibilidade ou “não disponibilidade” caracteriza o tempo de inatividade dos sistemas (tempo de não-produção), e pode-se definir como a probabilidade de um sistema não realizar a sua função num determinado instante de tempo ou num período definido.

O aumento da disponibilidade é alcançado se a fiabilidade e/ou a manutibilidade forem melhoradas. Com a redução da probabilidade de falha e/ou diminuição dos tempos de intervenção para realizar as atividades de manutenção, quer de carácter preventivo, quer corretivo, o tempo global em que o bem se encontra disponível para cumprir a sua função aumentará.

4.3.3. Manutibilidade

Segundo Ferreira (1998), manutibilidade é a probabilidade de recuperar um sistema nas condições de funcionamento especificadas, em prazos de tempo estabelecidos, quando as ações de manutenção são efetuadas nas condições e com os meios previstos.

Manutibilidade representa tudo o que poderá influenciar a aptidão de um sistema para receber manutenção (facilidade de acesso, condições de segurança, precisão, economia). A manutibilidade dos equipamentos e sistemas está diretamente relacionada com a rapidez e facilidade com que as intervenções de manutenção podem ser realizadas.

Ferreira (1998) apresenta ainda uma definição para manutibilidade como sendo a fiabilidade com que as reparações e o restante trabalho da manutenção é efetuado e afeta diretamente a disponibilidade dos equipamentos para efetuarem o serviço requerido. Pois, o tempo gasto na reparação de avarias e nas ações de manutenção preventiva, contribuem para a diminuição do tempo de exploração dos sistemas.

De acordo com a norma NP EN 13306 (2007), manutibilidade é a aptidão de um bem, sob condições de utilização definidas, para ser mantido ou restaurado, de tal modo que possa cumprir uma função requerida, quando a manutenção é realizada em condições definidas, utilizando procedimentos e recursos prescritos.

Os indicadores de manutibilidade são, primordialmente, medidas que indicam a aptidão do sistema para ser reparado para uma condição de bom funcionamento. Assim, ao total dos tempos de reparação (manutenção corretiva) do sistema, não devem ser somados os tempos de manutenção preventiva que efetivamente com o ativo possam ter sido despendidos.

O conceito de manutibilidade só deve ser utilizado quando se trata de bens reparáveis, uma vez que traduz a aptidão e conseqüente rapidez com que um ativo, após avaria, pode ser reposto no seu estado operacional.

Assim, Sobral (2010) observa que a manutibilidade de um sistema é a sua capacidade, expressa por uma probabilidade, de:

- Ser convenientemente reparado, ou seja, colocar no estado considerado operacional, para reposição do serviço;
- Num período de tempo conveniente;
- Sob condições operacionais e ambientais especificadas;
- Por uma equipa ou operador habilitado.

Como a manutibilidade também pode ser traduzida por uma probabilidade, pode-se também ajustar aos tempos de reparação ou recolocação em serviço uma determinada distribuição estatística. Sobral (2010) refere que, à semelhança da fiabilidade, as distribuições estatísticas mais características, quando se efetuam estudos de manutibilidade, são Weibull, Exponencial, e Lognormal. Na investigação de Sobral (2010), são apresentadas algumas constatações sobre a utilização de distribuições estatísticas para ajustar aos tempos de reparação ou recolocação de sistemas em serviço.

4.3.4. Segurança

O conceito de segurança está intimamente ligado aos outros três elementos do acrónimo RAMS. Sobral (2010) menciona que torna-se evidente em aplicações consideradas críticas ou instalações de alto risco. Nomeadamente, se com a ocorrência de avarias ou indisponibilidade dos equipamentos estiverem em causa riscos para a vida humana, ambiente ou fatores económicos relacionados com a perda de bens ou cessação das atividades. Diz-se que existe segurança quando há ausência de risco não aceitável.

Em termos de segurança para aplicações críticas, Sobral (2010) aconselha que, deverão adotar-se mecanismos especiais, de forma a garantir que qualquer estado considerado inseguro não ocorra. Na eventualidade de acontecer, o sistema deverá acionar uma redução ou atenuação das suas consequências e a rápida recuperação para um dado estado considerado seguro.

O desenvolvimento de soluções tecnológicas, que restringem ou reduzem a possibilidade de falhas nos sistemas, com especial atenção nos sistemas críticos ou de alto risco, tem evidenciado grandes desafios no campo da investigação e engenharia.

Sobral (2010) aponta que os conceitos técnicos de segurança são baseados no conhecimento de:

- Situações potencialmente perigosas dos sistemas;
- Característica de cada situação potencialmente perigosa, quanto à gravidade das suas consequências;
- Critérios de avaria contrários à segurança (modos de avaria, probabilidade de ocorrência, sequência ou coincidência de acontecimentos, estados operacionais, condições, etc.);
- Manutibilidade dos bens (facilidade para executar manutenção, probabilidade de ocorrência de erros durante as ações de manutenção, tempo para se atingir um estado de segurança, etc.);
- Sistema de exploração e manutenção (influência de fatores humanos, ferramentas, infraestruturas logísticas, procedimentos e controlos, etc.).

Assim, o conceito de segurança encontra-se diretamente ligado à noção de risco. A segurança é uma atividade interdisciplinar que se ocupa da identificação e da avaliação dos riscos inerentes a cada atividade específica. A segurança torna-se um tema inevitável quando se efetuam análises a instalações de risco elevado. Os estudos na área do RAMS justificam-se, portanto, nas instalações que apresentem potenciais riscos (vida humana, económicos, ambientais).

Como definição clássica, o risco é basicamente composto por duas componentes, uma é a incerteza quanto à ocorrência dos acontecimentos futuros e a outra refere-se à dimensão ou intensidade das consequências de cada acontecimento possível.

O risco envolve acontecimentos futuros de consequências incertas, tipicamente relacionados com aspetos como a vida humana, bens materiais ou consequências ambientais, por vezes, também

relacionados com valores monetários, traduzindo o risco em valores mais palpáveis e fáceis de analisar.

Sobral (2010) atribui uma definição mais precisa do risco, que pode ser expressa pelo valor esperado, por unidade de tempo, das consequências de determinado processo. Portanto, o risco é uma combinação da probabilidade de dano e a sua severidade, enquanto a segurança se relaciona com a ausência de risco considerado inaceitável.

Entre as várias metodologias disponíveis para a análise de risco, Sobral (2010) salienta a Árvore de Acontecimentos (ETA - *Event Tree Analysis*) para determinar a probabilidade das várias consequências de acontecimentos e a Árvore de Falhas (FTA - *Fault Tree Analysis*) para calcular a probabilidade de ocorrência de cada acontecimento. Nesta investigação são apresentadas e aplicadas estas metodologias na análise de barreiras de segurança em instalações industriais de risco elevado. Julgam-se ser metodologias também adequadas para a análise de risco em edifícios e de contributo significativo para uma abordagem LARG à gestão da manutenção em edifícios.

O mesmo autor desenvolveu, ainda, a metodologia RODS (*Reliability Of Dormant Systems*) especialmente para a determinação da probabilidade de falha em equipamentos tipo “*dormat*” (equipamentos num estado adormecido, na configuração operacional normal e ligado, mas não em operação). Esta ferramenta pode ser utilizada para modelar o cálculo da fiabilidade das barreiras de segurança contra incêndios, geradores, entre outros ativos que normalmente se encontram instalados em estado “*dormat*”, em edifícios e grandes estruturas. A metodologia RODS é uma técnica que permite a análise da indisponibilidade de componentes necessários na fase de arranque de equipamentos em instalações críticas. O conhecimento do potencial risco, inerente a essas instalações, permitirá definir critérios para aceitação do risco, no caso de este ser tolerável, ou criar mecanismos para a sua redução.

4.4. FMEA - *Failure Mode and Effects Analysis*

Análise Modal de Falhas e Efeitos (FMEA) é uma técnica essencialmente preventiva, orientada para a identificação dos modos como um processo ou serviço pode falhar e fornece orientações para eliminação ou redução do risco relativo a essas falhas. Esta técnica visa assegurar que todos os modos de falha, bem como os respetivos efeitos e causas, são devidamente identificados e analisados.

A metodologia FMEA foi criada 1949 nos EUA para operações militares com o nome “*Procedures for Performing a Failure Mode, Effects and Criticality Analysis*”. Em meados da década de 1960 foi desenvolvida pela NASA e mais tarde adaptada às indústrias convencionais, com especial impacto na indústria automóvel.

A manutenção pode recorrer à ferramenta FMEA para qualificar e quantificar, antecipadamente, possíveis falhas de um componente e conhecer os respetivos impactos sobre todo o sistema, possibilitando ações pró-ativas que as minimizem ou eliminem.

O método é simples e consiste em preencher uma tabela estruturada de forma a organizar cada modo de falha possível. Os modos de falha são identificados através da análise de como o sistema pode deixar de cumprir as suas funções (falha), são determinados os efeitos e as suas causas e calculado o Número de Prioridade de Risco (RPN – *Risk Priority Number*). As ações corretivas devem dar prioridade a modos de falha com RPN elevados, ou seja, que representam maiores riscos.

As organizações devem alinhar o desempenho da sua estrutura de gestão de risco com a criticidade de decisões que necessitam tomar. Esta é uma ferramenta que pode ajudar os decisores a priorizar ações corretivas na prevenção de falhas que apresentam consideráveis riscos, nomeadamente, atendendo aos requisitos da norma “ISO 31000:2009 – Gestão de Risco”.

Esta técnica analítica pode ainda ser aplicada para identificar as causas e efeitos de falhas em ativos e ordenar os desempenhos associados à severidade dos riscos, na análise de segurança do modelo RAMS.

Flores-Colen e Brito (2010) e Wilde *et al.* (2011) referem que o método FMEA tem vindo a ser adaptado à manutenção em edifícios com um grande número de aplicações. Estes autores apontam essas aplicações na análise de risco de componentes em edifícios e como modelo para identificar a estratégia de manutenção mais económica e adequada para edifícios existentes, outras instalações e infraestruturas. Estes autores referem ainda que, em muitos casos o FMEA é aplicado conjuntamente com o modelo RCM (*Reliability Centred Maintenance*).

4.5. RCM – *Reliability Centred Maintenance*

A história da Manutenção Centrada na Fiabilidade (RCM) está relacionada com estudos realizados na indústria aeronáutica comercial dos EUA. O RCM teve a sua origem num estudo solicitado na década de 70 pelo Departamento de Defesa dos EUA com o intuito de estudar as práticas utilizadas na indústria aeronáutica comercial, tendo como objetivo a redução de custos de manutenção. O estudo foi concluído em 1978 por Stanley Nowlan e Howard Heap, o qual foi designado por *Reliability Centred Maintenance*. Desde então, a metodologia desenvolvida nesse estudo, tem vindo a ser progressivamente adotada pelas empresas em todo o mundo.

Não se trata de uma ferramenta ou técnica da manutenção, mas sim de uma metodologia para aplicação das ferramentas da manutenção. Assis (2010) define o RCM como um método sistemático para determinar quais devem ser os requisitos de manutenção, de forma a assegurar que qualquer equipamento continue a desempenhar as funções requeridas no seu contexto operacional.

Esta metodologia estabelece a análise da criticidade dos componentes num sistema reparável e possibilita a identificação das ações de manutenção mais apropriadas para esse sistema. Procura dar resposta aos rápidos aumentos do custo da manutenção, à baixa disponibilidade e uma preocupação central na eficácia da manutenção preventiva, baseada no tempo.

A aplicação do modelo RCM permite um equilíbrio de vários tipos de manutenção para assegurar a máxima capacidade e disponibilidade, enquanto se minimizam os custos. Os principais princípios desta técnica são: a manutenção tem que ser estruturada de acordo com a fiabilidade inerente aos equipamentos; e a causa das anomalias são mais relevantes que as suas consequências para evitar-se futuras anomalias deste tipo. Portanto, esta técnica tenta maximizar a fiabilidade dos componentes e dos sistemas em geral, de modo a minimizar o risco de falha e consequentemente os custos.

O RCM consiste basicamente em encontrar resposta para sete questões fundamentais aplicadas a cada componente, equipamento ou sistema. Segundo Assis (2010), as questões são as seguintes:

- 1) Quais as funções do equipamento e os níveis de desempenho requerido?
- 2) De que maneiras podem estas funções falhar?
- 3) O que causa cada falha de função?
- 4) O que acontece quando uma falha ocorre?
- 5) Qual a importância das consequências da cada falha?
- 6) O que pode ser feito para evitar cada falha?
- 7) O que fazer quando não é possível ou justificável uma política de manutenção preventiva?

Poder-se-á então concluir que, as atenções da manutenção “tradicional” focam-se principalmente no equipamento e na prevenção das falhas, enquanto no RCM, as atenções estão nas funções do equipamento e na prevenção das consequências das falhas.

4.6. BIM - *Building Information Model*

BIM (*Building Information Model* ou *Building Information Modeling*) significa tanto *Modelo de Informação da Construção*, como também, *Modelação de Informação da Construção* (Eastman *et al.*, 2011).

Embora os primeiros contributos para o desenvolvimento do BIM tenham sido dados especificamente com o intuito de criar um modelo de informação para a construção, atualmente vislumbra-se a sua aplicabilidade à gestão, operação e manutenção de edifícios. Os desenvolvimentos na extensão destes modelos sugerem, nomeadamente, novos contributos no âmbito da manutenção em edifícios.

O BIM é uma representação digital das características físicas e funcionais de um edifício ou construção, constituindo uma base de dados de conhecimento, partilhado ao longo do ciclo de vida das edificações (*Building Life Cycle*). Na tecnologia BIM, a geometria, função, dados e o respetivo comportamento estão integrados, permitindo estabelecer relações entre os mesmos (Sardinha, 2010).

Sardinha (2010) refere que as características únicas do BIM, permitem a representação e simulação do comportamento real de edifícios (energético, estrutural, acústico, sustentabilidade, etc.), a quantificação de materiais e a determinação de custos associados ao projeto e respetiva execução, a identificação de erros e omissões, a automatização da produção de documentação incluindo a introdução de alterações, facilitando em simultâneo a comunicação e coordenação e permitindo um elevado incremento de produtividade. Sardinha (2010), em género de resumo, refere que BIM é um processo de produção/comunicação/colaboração apoiado em tecnologia de modelação, análise e simulação.

Para Grilo e Tavares (2008), a metodologia BIM envolve-se na conceção de todas as especialidades e atores presentes no ciclo de vida de um empreendimento poderem partilhar um modelo digital comum e sobre ele trabalharem, para poderem conceber e executar os projetos de engenharia e construção. O BIM requer uma nova atitude de todos os intervenientes na construção, uma vez que é necessário gerir processos de trabalho em equipa, ajustar aspetos contratuais e, no geral, educar e mobilizar os interessados no sector da construção para um novo modo de construir.

Segundo Grilo e Tavares (2008), a abordagem BIM é baseada em três dimensões: **Modelo Partilhado 3D do Projeto** – todas as especialidades (arquitetura, estruturas, Instalações especiais, etc.) vão evoluindo de forma sistematizada ao longo da vida do projeto; **Conhecimento** - informação adicional das propriedades físicas, comportamentais e funcionais dos materiais, sistemas, equipamentos, etc., dos custos, bem como de dados sobre a gestão do projeto; **Normas/Interoperabilidade** – estrutura da informação produzida e aplicações utilizadas durante as atividades nas diferentes fases do ciclo de vida do projeto de acordo com normas internacionais.

Num ambiente partilhado (ou colaborativo), os profissionais podem trocar informações sobre os seus projetos com agilidade. As informações são recebidas e transmitidas, e segundo Florio (2007), enriquecem o produto a partir dos conhecimentos e sugestões de todos os participantes do processo.

Os sistemas baseados em tecnologia BIM podem ser considerados uma nova evolução dos sistemas CAD (*Computer Aided Design*). Os sistemas BIM adotam modelos paramétricos dos elementos construtivos de uma edificação e permitem o desenvolvimento e alterações dinâmicas no modelo gráfico, que refletem em todos os desenhos associados e em tabelas de dados e especificações. A base de um sistema BIM é o conjunto de dados que, além de permitir exibir a geometria dos elementos construtivos em três dimensões, armazena os seus atributos, transmitindo assim mais informação do que os modelos CAD tradicionais. Para além disso, como os elementos são paramétricos, torna possível alterá-los e obter atualizações instantâneas em todo o projeto. Florio (2007) menciona que este processo estimula a experimentação, diminui conflitos entre elementos construtivos, facilita revisões e aumenta a produtividade.

Porém, vários autores argumentam que o BIM oferece uma proposta totalmente diferente, que permite ir além da representação e simulação do processo de construção de edifícios.

O ciclo de vida dos edifícios prolonga-se por muitos anos após as fases de projeto e construção e, neste âmbito, Sardinha (2010) menciona também as fases de utilização, manutenção, gestão, renovação e eventualmente desmontagem ou substituição, como possíveis áreas de aplicações do BIM.

Em Grilo e Tavares (2008) é também referido que a introdução de conhecimento no modelo partilhado 3D permite realizar um conjunto de funções e análises de forma integrada. Nomeadamente, funções de simulação de eficiência energética, simulação de climatização e ventilação, simulações ao fogo, simulações à segurança física (atentados bombistas, intrusão, etc.), higiene e segurança no trabalho e funções de manutenção preventiva e corretiva na ótica de FM (*Facilities Management*).

O projeto e a construção são o foco atual, contudo, para Eastman *et al.* (2011), as principais características do BIM são a interoperabilidade entre profissionais e a concentração de informação por meio de objetos paramétricos num único modelo digital, o que induz facilidades para a manutenção e gestão das edificações.

4.6.1. Contexto histórico do BIM

O BIM surge como uma nova visão no âmbito do projeto de edifícios no início dos anos noventa. No entanto, Grilo e Tavares (2008), referem que a sua capacidade de realização manteve-se essencialmente dentro dos centros de investigação empresariais e académicos, com pouca expressão em projetos reais. Contudo, hoje o BIM está a ser implementado em tipologias de empreendimentos que vão desde as pequenas moradias, aos novos hospitais, escolas, edifícios de escritórios, estádios ou mesmo aeroportos.

As discussões em torno do processo colaborativo em arquitetura começaram na década de 1970. Rebbeck (2008) refere que, pelos anos de 1980, o uso do CAD foi evidenciado por dois principais benefícios. Para reduzir os erros de desenho e para aumentar a reutilização de desenhos. Estes benefícios proporcionaram o desenvolvimento do CAD, da IT (*Information Technology*) e dos negócios em torno de ambos.

No início dos anos noventa, segundo Grilo e Tavares (2008), surgira a ideia de todas as especialidades e atores do ciclo de vida de um empreendimento poderem partilhar um modelo digital comum para a conceção e execução dos projetos de engenharia e construção. Grilo e Tavares (2008) referem que esta abordagem tecnológica era semelhante à metodologia do *Computer Integrated Manufacturing* (CIM), uma realidade na indústria da produção, principalmente nos sectores da aeronáutica, automóvel e equipamentos eletrónicos.

Os sistemas colaborativos BIM para a construção civil aplicaram-se na segunda metade da década de 1990, em empreendimentos de grandes empresas de construção civil, com o objetivo de promover maior produtividade e eficiência no sector.

Para garantir a interoperabilidade entre as aplicações BIM, isto é, para garantir a partilha e troca de informação, para evitar condicionalismos e limitações tecnológicas entre *software* de modelação BIM, foram estabelecidas normas e desenvolvidos protocolos internacionais. Segundo Grilo e Tavares (2008), o protocolo IFC (*Industry Foundation Classes*) é o mais relevante em termos de BIM, que foi desenvolvido pela IAI (*Industrial Alliance for Interoperability*). As principais empresas fornecedoras de BIM e de *software* de AEC/FM (Arquitetura, Engenharia e Construção / *Facilities Management*) implementaram suportes IFC nos seus produtos.

Grilo e Tavares (2008) menciona que, nos últimos anos desenvolveram-se várias iniciativas no Reino Unido, Noruega, EUA, Singapura, Coreia do Sul, Japão e mais recentemente na China, no sentido de institucionalizar a abordagem BIM.

Até final do século XX, apesar do interesse gerado, mesmo a nível empresarial, o BIM teve algumas dificuldades de concretização industrial e, segundo Grilo e Tavares (2008), até aos dias de hoje, a utilização generalizada de sistemas CAD e de aplicações informáticas, não alterou significativamente a realidade BIM.

Por outro lado, Grilo e Tavares (2008) refere também que atualmente, promotores, donos-de-obra, projetistas e empreiteiros no Reino Unido, EUA, Holanda, Noruega, Singapura, Coreia do Sul, França e China têm vindo, cada vez mais, a adotar abordagens BIM em projetos industriais.

O BIM não é uma abordagem meramente teórica, pois tem sido aplicado em projetos concretos e de relevo com vantagens bem evidenciadas. Contudo, Grilo (2008) refere que em Portugal o BIM tem merecido pouca atenção pelas entidades responsáveis pelas políticas públicas, pois não têm sido adotadas estratégias para fomentar esta abordagem, quer ao nível privado quer ao nível das entidades públicas.

4.6.2. Benefícios do BIM no ciclo de vida dos edifícios

O ciclo de vida dos edifícios prolonga-se por muitos anos após as fases de projeto e construção. Os empreendimentos têm várias fases incluindo o planeamento, aprovação, projeto, construção, utilização, manutenção, gestão, renovação e eventual desmontagem ou substituição. Diversas entidades estão ligadas ao ciclo de vida dos edifícios, incluindo promotores, investigadores, instituições públicas e privadas, projetistas, empreiteiros, fiscalização, promotores imobiliários, utilizadores, gestão, manutenção e reabilitação (Sardinha, 2010).

Sardinha (2010) refere que vários estudos indicam que durante o ciclo de vida de um edifício, 2 a 7% dos custos são gastos em conceção e projeto, 10 a 15% são gastos em construção e execução de obra e o restante, cerca de 65% a 80%, são gastos em exploração e manutenção.

O BIM concentra num único arquivo (modelo digital único) todas as informações relevantes ao projeto da edificação. Para além dos dados gráficos tridimensionais, plantas e cortes, são armazenados dados quantitativos, custos, especificações de materiais e componentes para a

gestão das instalações durante toda a vida útil da edificação. Por outro lado, os modelos BIM permitem a adição de informação ao longo da vida útil do edifício.

Para Siviero (2010), a tecnologia BIM agrega valor ao produto face às exigências e singularidades próprias de cada fase do desenvolvimento e uso da edificação. A ferramenta BIM mostra-se capaz de solucionar algumas das dificuldades que se enfrentam hoje ao longo do ciclo de vida de um edifício.

Geyer (2009) refere que um aspeto importante para o desempenho de um edifício é a quantidade de recursos necessários. E são as propriedades físicas estipuladas nos projetos dos edifícios que determinam os recursos necessários. Este autor apresenta algumas questões pelas quais os projetistas se debatem:

- Qual o custo para a construção e para a manutenção durante o ciclo de vida?
- Quais os materiais, quanta energia consumida e quais as emissões causadas pelos edifícios?

Para Geyer (2009), o BIM pode responder a essas questões, com o objetivo de considerar o desempenho durante o período de vida útil de um edifício. As fases de construção, manutenção e até eliminação incluem despesas de mão-de-obra, materiais e de energia, e pode ser calculado o custo total por metro quadrado de área útil por ano de uso.

Lifecycle Assessment Analysis (LCA) é um método eficiente para analisar, avaliar e comparar alternativas de projeto, a partir de uma perspetiva ecológica, para todo o ciclo de vida dos edifícios. Para isso, esta ferramenta requer um conjunto variado de medições ao longo do ciclo de vida da instalação, por exemplo, construção, custos de operação e manutenção, consumo de energia, consumo de água, estruturas dos edifícios, sistemas e equipamentos técnicos. Com uma ferramenta concebida e implementada adequadamente, as equipas podem tomar decisões aplicáveis sobre todas as fases do ciclo de vida do edifício, desde a conceção à construção e depois à operação e gestão das instalações.

O BIM proporciona aos projetistas e engenheiros uma mais fácil integração dos dados nas ferramentas LCA durante o projeto. Eastman *et al.* (2011) apresentam na sua obra variadíssimas aplicações (*software*) com integração na metodologia BIM. Entre os quais, o BSLCA (*Building Services Life Cycle Analysis*), um pacote de *software* altamente integrado que se baseia em ferramentas que podem operar em modelos de construção a vários níveis. O BSLCA conjuga o *layout* e dados de materiais do modelo de construção 3D, dados dos sistemas projetados para os serviços do edifício, dados de consumo de energia a partir da simulação energética do edifício.

É evidente que a manutibilidade, cada vez mais, está relacionada com a fase de projeto dos equipamentos, dos sistemas e das instalações dos edifícios e com a atenção que nessa fase deve ser dada a aspetos como:

- Boa acessibilidade;
- Montagem das unidades concebida para substituições rápidas;

- Acesso a inspeções internas por meios alternativos (ex: fibras óticas, redes móveis);
- Indicadores de vibração, temperatura, qualidade do ar;
- Identificação dos circuitos pelas cores convencionais;
- Utilização de materiais e componentes diferentes em zonas e ambientes distintos, assegurando funcionalidades iguais ou semelhantes, de modo a otimizar os espaços, conferir segurança e a durabilidade dos próprios bens;
- Entre outros...

Neste âmbito, evidenciam-se possíveis contributos do BIM na eficiência da gestão da manutenção em edifícios. Nomeadamente, as contribuições da metodologia BIM na influência da manutibilidade dos equipamentos, sistemas e instalações dos edifícios. Por um lado, em fase de projeto, podem ser estudados aspetos significativos na otimização da sua vida útil, e por outro, na futura exploração, a informação disponível no modelo pode ser utilizada para a gestão do ativo.

Sardinha (2010) refere que o BIM, sendo baseado num modelo único, permite a produção de informação consistente e coordenada, passível de utilização ao longo de todo o ciclo de vida do edifício, permitindo a donos e gestores de edifícios, a redução dos elevados custos associados à gestão da manutenção e exploração dos mesmos.

4.6.3. Contributos do BIM na gestão de edifícios

Atualmente, com a evolução dos meios informáticos, nomeadamente com o aumento da capacidade de processamento, tem-se assistido à otimização e rapidez de processos, ao aumento das suas aplicabilidades e interoperabilidade de sistemas.

Para Siviero (2010), a gestão de instalações (edifícios) pode ser descrita como um conjunto de atividades e serviços com o objetivo de elevar a edificação ao nível de alto desempenho.

A tecnologia BIM, embora não produza modelos de excelência no sentido da operação e da manutenção de edifícios, entende-se como uma tecnologia que paralelamente auxilia a sua gestão. Eastman *et al.* (2011) refere que muitos problemas enfrentados hoje pelos gestores de edifícios poderiam ser minorados e até eliminados com a implementação da tecnologia BIM nas suas empresas. O modelo 3D paramétrico criado em BIM pode contribuir na gestão das instalações pós-construção. A grande vantagem desta tecnologia é a capacidade de armazenar dados ao longo da vida útil de uma edificação.

O projeto de modelo BIM, que contém as informações necessárias sobre as instalações do produto final, pode ser entregue ao proprietário e ao gestor das instalações para o auxílio na manutenção e gestão do edifício. Por outro lado, esse modelo pode também ser utilizado para modificações futuras ou expansões no edifício.

A manutenção pode tirar partido das vantagens inerentes da metodologia BIM. Nomeadamente, eliminar grande parte dos esforços redundantes, melhorar a comunicação, concentrar mais tempo para análise e gestão e acelerar os processos da própria atividade. A utilização de apenas um arquivo com toda a informação necessária e a diminuição de retrabalho torna o processo de gestão e manutenção mais racional e dinâmico.

Durante o processo de construção, o empreiteiro geral e empreiteiros de MEP (*Mechanical, Electrical, Plumbing*), recolhem informações sobre materiais e equipamentos instalados e informações para manutenção dos sistemas no edifício. Toda essa informação pode ser associada ao respetivo objeto no modelo BIM e estar disponível para entregar ao proprietário para o seu sistema de gestão das instalações. Por outro lado, antes de aceitar o edifício construído, esta informação pode ser usada pelo proprietário para verificar se todos os sistemas instalados no edifício funcionam corretamente conforme o projeto (Eastman *et al.* 2011).

Numa perspetiva de melhor gestão e operação das instalações, Eastman *et al.* (2011), apontam que o BIM é uma fonte de informação (gráfica e especificações) para todos os sistemas de um edifício. Nomeadamente, em análises prévias para a seleção de equipamentos mecânicos, sistemas de controlo e outras aquisições por parte do proprietário, para verificar decisões técnicas e de projeto mesmo com o edifício já em uso.

Ora, um modelo de construção, atualizado constantemente com todas as alterações feitas durante a construção, é uma fonte precisa de informação sobre os espaços construídos e sistemas instalados e proporciona um ponto de partida útil para a gestão e operação do edifício. Um modelo de informação de edifícios (BIM) pode ser utilizado para monitorização de sistemas de controlo em tempo real, permitir a interface com sensores e a gestão operacional remota das instalações. Eastman *et al.* (2011) referem que muitos destes recursos ainda não foram desenvolvidos, mas o BIM fornece uma plataforma ideal para o seu desenvolvimento e implementação. Neste âmbito, estes autores referem também que os proprietários vão com certeza informar-se sobre as vantagens do BIM, e, provavelmente, exigirão modelos de construção que apoiem também a operação, a manutenção e remodelações subsequentes.

4.6.3.1. Eficiência energética

O BIM potencializa a simulação avançada, face à extensa quantidade de dados que atualmente é necessária, nomeadamente para a simulação da eficiência energética dos edifícios. As simulações energéticas podem ser realizadas durante o processo de projeto, para cumprir determinações legais, ou ao longo do ciclo de vida dos edifícios.

Contudo, as simulações podem ser também ao nível da qualidade do ar interior, conforto térmico, decoração e ambiente visual, iluminância, desempenho acústico, entre outros.

Utilizando modelos BIM podem-se integrar simulações energéticas avançadas no processo de projeto, onde os resultados das simulações podem ser usados para modificar e influenciar aspetos

do projeto. A simulação energética na fase de projeto pode proporcionar o alcance dos requisitos estabelecidos e exigidos pelos proprietários para os seus edifícios (Eastman *et al.* 2011).

Para os proprietários é vantajoso otimizar os consumos energéticos nos seus edifícios na fase de projeto e é útil estabelecer metas reais de consumo de energia por unidade de área, tal como estimar o custo de operação. Um estudo inicial, simulando resultados de consumo energético por unidade de área, requer alguns pressupostos baseados na experiência, na simulação de projetos prévios, no conhecimento do consumo de cada componente a instalar no edifício.

Segundo Eastman *et al.* (2011), a simulação energética pode ser utilizada para avaliar alternativas de projeto para uma melhor economia de energia e redução de custos em geral, conferindo mais qualidade, conforto e imagem dos edifícios.

A simulação energética torna possível a comparação entre sistemas e diferentes alternativas de projeto, no sentido de tomar a melhor decisão do ponto de vista do consumo energético. Isto pode ser realizado para diversos sistemas como o consumo de energia para aquecimento, para refrigeração, consumo de eletricidade, consumo de água, entre outros.

Na simulação energética podem ser contemplados diversos fatores do edifício, da sua envolvente, da sua localização, para além da sua estrutura, dos materiais aplicados e dos sistemas instalados. Todos esses fatores podem interferir na eficiência energética de um edifício. Um modelo BIM pode disponibilizar todos esses parâmetros em consenso com todas as especialidades do projeto sem a necessidade de inserir repetidamente os mesmos dados.

Por outro lado, se o software dedicado à simulação energética aceder à informação fornecida pelo projeto de modelo BIM e vice-versa, ou seja, se existir interoperabilidade entre os sistemas (aplicações), serão apenas necessários adicionar parâmetros relacionados com fatores externos ao edifício. Nomeadamente, parâmetros de condições climatéricas, benefícios da luz solar (insolação), localização e orientação, ganhos latentes por ocupação humana, entre outros.

Estas aplicabilidades de simulação energética podem ser úteis na fase de projeto, mas também ao longo do ciclo de vida dos edifícios, a serem utilizadas tanto para a operação como para a manutenção. E em todas essas fases do ciclo de vida dos edifícios, a manutenção deverá ser consultada e participar com o conhecimento e experiência na seleção de soluções de otimização de consumos energéticos.

4.6.3.2. Segurança

Na gestão da manutenção de edifícios e instalações é necessário responder a ampla variedade de pedidos de manutenção e assegurar um programa de inspeções proactivo para manter a unidade em funcionamento. É da responsabilidade da gestão da manutenção, manter um ambiente que não afete negativamente a saúde ou a segurança dos utilizadores dos edifícios. Isto significa que são necessárias inspeções de monitorização sobre tudo, tendo a oportunidade de identificar

condições inseguras antes de resultarem acidentes ou falhas de sistemas, equipamentos ou componentes.

Eastman *et al.* (2011) referem que socorristas (primeiros socorros), agências governamentais de segurança e outras organizações necessitam de dados relacionados com o projeto de construção e informações dos edifícios que possam constituir base para simulações de potenciais catástrofes e/ou incursões terroristas.

Os planos de salvamento, de emergência e de inspeção podem ser projetados usando modelos BIM, onde a informação sobre o edifício se encontra estruturada e apta a ser partilhada pelos diversos projetistas. Nomeadamente, um modelo BIM poderá fornecer uma base adequada para simulações de cenários de incêndio e de salvamento.

Hagedorn e Dollner (2007) referem que na área dos incêndios e do salvamento, a disponibilidade de informação dos edifícios é de grande interesse para salvar pessoas e bens. Estes autores apresentam uma lista de informação georreferenciada sobre os edifícios que pode ser considerada relevante para cenários de incêndio e de resgate:

- Extintores de incêndio;
- Sensores, tais como detetores de fumo e sensores de temperatura, ou detetores de movimento para estimar a origem do fogo e do estado geral;
- *Sprinklers*, hidrantes, carretéis de mangueiras, colunas montantes;
- Materiais das estruturas do edifício, janelas;
- Cabos, condutas e chaminés, fontes de calor, de fogo e fumo;
- Informações sobre o bloqueio de janelas, de portas e proprietários de chave;
- Locais de armazenamento de substâncias perigosas (ex: petróleo, gás, material de limpeza, e produtos químicos);
- Número esperado de pessoas no edifício, número de pessoas que necessitam de assistência (ex: crianças e idosos);
- Dicas de navegação (ex: números de quartos) para apoiar a orientação dos auxiliares;
- Informações de controlo de pessoas e objetos.

Para Hagedorn e Dollner (2007), enriquecer esta informação do edifício com informação geoespacial complementar sobre a área circundante do edifício, tais como terrenos, ruas, edifícios conexos e elementos de outras infraestruturas, vegetação, corpos de água, etc., pode apoiar o processo de avaliação do fogo (incêndios) e ajudar na tomada de decisão.

A informação detida no modelo BIM ao longo do ciclo de vida do edifício pode integrar também na análise de segurança das atividades do pessoal da manutenção, de trabalhos de alteração nas instalações ou mesmo das funcionalidades de sistemas do edifício, controladas pela manutenção.

4.6.3.3. Ambiente

É normal a manutenção intervir para o cumprimento legislação aplicável a emissões gasosas, efluentes líquidos ou resíduos, quer as emissões poluentes sejam consequência da degradação ou desafinação das máquinas, quer o sejam pela inadequação dos equipamentos. Exemplos:

- Construção ou ligação a estações de tratamento de águas residuais;
- Estudo, instalação, divulgação e gestão dos processos de recolha e envio para destino adequado dos resíduos poluentes;
- Práticas de manutenção tendentes a reduzirem o risco de fuga de contaminantes e emissões poluentes.

Adicionalmente, a certificação segundo a família de normas NP EN ISO 14000 e os desenvolvimentos previstos relativos ao protocolo de Quioto (*Kyoto*), induzem a um aumento das atividades relacionadas com o meio ambiente. Nomeadamente, na redução das emissões de CO₂ para a atmosfera e na eliminação de gastos energéticos desnecessário, contribuindo para o acréscimo do nível de eficiência energética das organizações.

A metodologia BIM pode contribuir para a obtenção de uma certificação energética, na medida em que se pode inserir no sistema BIM o desempenho energético do edifício como uma das dimensões que, então, passa a interagir no processo de projeto. Sardinha (2010) explica também que o BIM permite coordenar com eficácia e simular estratégias energéticas e de conforto, com o mínimo impacto e com menores custos, para além de permitir certificar ambientalmente.

Com o aumento das exigências da sociedade em termos ambientais, na sustentabilidade e na segurança, a necessidade de acesso e reutilização de informação crítica das infraestruturas cresceu para além das necessidades atuais de serviços e produtos para a indústria da construção (Eastman *et al.*, 2011).

É referido em Nguyen *et al.* (2010) que os edifícios comerciais e residenciais consomem cerca de 40% da energia total, 70% da eletricidade, 40% das matérias-primas e 12% da água fornecida nos EUA. Estes edifícios representam 30% das emissões de gases de efeito de estufa e geram significativas quantidades de resíduos de construção e demolição (aproximadamente 1,27 kgs/pessoa/dia).

Recentemente, o projeto sustentável tem vindo a crescer na indústria da construção, como prática de projeto de construção e de operação dos edifícios, de tal forma que o seu impacto ambiental pode ser diminuído (Nguyen *et al.*, 2010).

A construção verde (*Green Building*) é cada vez mais exigida por um público consciente das alterações climáticas. A tendência para a construção verde, segundo Eastman *et al.* (2011), está levando muitos proprietários a considerar a eficiência energética das suas instalações e o impacto ambiental global dos seus projetos. E Nguyen *et al.* (2010) referem que edifícios concebidos com soluções sustentáveis, normalmente, economizam mais dinheiro em contas de energia e água. O

projeto sustentável tem como objetivo a construção de edifícios “*Green*”, projetados para serem ambientalmente responsáveis, rentáveis e saudáveis para viver e trabalhar.

Para Eastman *et al.* (2011), a construção sustentável é uma boa prática comercial e pode possibilitar uma melhor comercialização dos edifícios e, o BIM pode auxiliar os projetistas a alcançar construções ambientalmente sustentáveis.

Para além disso, as ferramentas BIM podem também auxiliar na avaliação de projetos para a certificação ambiental no âmbito de metodologias e normas já existentes.

Existem várias técnicas de avaliação de sustentabilidade em edifícios. Na Europa, segundo Nguyen *et al.* (2010), tem sido usado, principalmente, o BREAM (*Building Research Establishment Environmental Assessment Method*) como método de avaliação ambiental de edifícios, que define as melhores práticas em projeto sustentável e tornou-se a referência utilizada para descrever o desempenho ambiental de um edifício.

Nos Estados Unidos (EUA) o método mais popular é o LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*), conhecido por ser um método eficaz para medir o nível de sustentabilidade dos edifícios habitacionais ou outros edifícios com distintas aplicabilidades.

O BIM fornece ferramentas para análise das necessidades energéticas especificando produtos e materiais de construção com baixo impacto ambiental. As ferramentas BIM podem também auxiliar na avaliação de projetos para a certificação LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*) ou no cumprimento de normas de consumo de energia (Eastman *et al.*, 2011).

O programa LEED define uma estrutura para implementar soluções de projeto mais sustentáveis, processos de construção e manutenção ao longo do ciclo de vida do edifício (Eastman *et al.* 2011).

Nguyen *et al.* (2010), apresentam um caso de estudo onde a tecnologia BIM foi utilizada para desenvolver e implementar a avaliação de sustentabilidade num projeto de um hotel nos Estados Unidos. A ferramenta BIM utilizada foi o “Revit” que na extensão de dados do modelo digital do edifício permitiu determinar o seu nível de sustentabilidade baseada em critérios de avaliação LEED.

4.6.3.4. Gestão da manutenção

Neste trabalho, pretendeu-se abordar o tema BIM com o objetivo principal de evidenciar os seus possíveis contributos na gestão da manutenção em edifícios. Nomeadamente, as contribuições da metodologia BIM na influência da manutibilidade dos equipamentos, sistemas e instalações dos edifícios, que por um lado, em fase de projeto podem ser estudados aspetos significativos de otimização para a sua vida útil, e por outro lado, na futura exploração, a informação disponível no modelo pode ser utilizada para a gestão dos ativos. Deste modo, verifica-se um potencial contributo do BIM para a eficiência da gestão da manutenção em edifícios.

Motawa e Almarshad (2013) referem que as decisões da manutenção em edifícios requerem a integração de vários tipos de informação e conhecimento detido pelas diferentes equipas de construção. Para além disso, a informação e o conhecimento gerado a partir de operações de manutenção, tais como: lições aprendidas com a investigação de causas de falha, as razões de se ter selecionado um método específico de manutenção, a seleção de determinadas empresas especializadas, efeitos e causas de falhas, efeitos em cascata sobre outros ativos, entre outros, também devem ser capturados e com detalhe suficiente. Não deter nem usar essa informação e/ou conhecimento resulta em custos significativos, devido a decisões ineficazes. Motawa e Almarshad (2013) exemplificam com a necessidade da manutenção, de por vezes, ter de substituir adicionalmente elementos afetados pela falha de outros elementos. Os autores constataam que, a maioria dos sistemas atuais de manutenção de edifícios centram-se principalmente na captura de informação e conhecimento. Portanto, a manutenção em edifícios requer um sistema abrangente que facilite a captura/recuperação de informação e conhecimento sobre todos os componentes, sistemas e ativos relacionados, para melhor analisar como o edifício tem funcionado e planear a manutenção prevendo a deterioração.

A falta de informação e de conhecimento pode levar à manutenção ineficaz, à repetição de erros e a planos de manutenção ineficientes para outros ativos da instalação do edifício.

Motawa e Almarshad (2013) são da opinião que o BIM é uma metodologia com versatilidade para apoio à manutenção uma vez que pode fornecer, de forma rápida e inteligível, a informação necessária para qualquer operação de manutenção. Contudo, são ainda pouco consistentes as contribuições dadas pela literatura, considerando o BIM como ferramenta para a melhoria na prestação de serviços de manutenção em edifícios. O caminho será o desenvolvimento de sistemas que permitam utilizar as funções técnicas de modelação da informação e captura de conhecimento para assistir às atividades de manutenção, para entender como os ativos da instalação falham e/ou se deterioram e para apoiar nas decisões de manutenção preventiva.

Por outro lado, Lin e Su (2013) referem que a gestão da manutenção na fase de operação do ciclo de vida das instalações em edifícios, tornou-se um tema importante para a investigação e estudos académicos. Estes autores consideram também que o BIM fornece a geometria precisa (3D) e a informação importante para apoiar os serviços de manutenção de instalações em edifícios. A abordagem BIM, que é utilizada para reter informações das instalações num formato digital, permite fáceis atualizações da informação da gestão da manutenção num ambiente de CAD 3D. Lin e Su (2013) dizem existir várias aplicações práticas que possibilitam a utilização do BIM no âmbito da gestão da manutenção. Porém, o desafio é tornar a integração dessas aplicações mais ampla e vencer as atuais limitações de interoperabilidade e funcionalidades com as tecnologias de informação, nomeadamente para possibilitar o uso do BIM em equipamentos móveis.

São poucas as organizações a recorrer ao BIM para a gestão de todo o ciclo de vida dos seus edifícios. Durante a fase de operação, os benefícios do BIM incluem o controlo eficaz do processo de gestão da manutenção, a integração de dados do ciclo de vida, acesso rápido a informação atualizada e precisa e facilidade na partilha de toda essa informação.

Um benefício relevante do BIM é, portanto, a possível introdução de informação no modelo partilhado 3D, que permita realizar um conjunto de funções e análises de forma integrada. Grilo e Tavares (2008), refere alguns exemplos:

- Permite a rápida iteração de simulações em relação ao desempenho do edifício nas várias especialidades. Simulação de eficiência energética, simulação de fluxos de ar e ventilação, simulações ao fogo, simulações à segurança física (atentados bombistas, intrusões, etc.), higiene e segurança no trabalho, entre outras;
- Otimização e disponibilização de informação na manutenção preventiva e corretiva, numa ótica de “*facilities management*”, através da transferência dos dados de projeto de execução e construção para as aplicações de gestão dos edifícios. Estas aplicações podem ser acedidas remotamente através de redes móveis ou ser realizado o carregamento em PDA's que permitam a acessibilidade dos dados sobre o edifício no próprio local;
- Coordenação e deteção de colisões. Permite eliminar as situações de colisão em novas instalações evitando custos desnecessários. Este tipo de benefício torna-se bastante relevante na análise de possíveis interferências entre elementos perante a adição de novas instalações técnicas, alterações ou substituições de equipamentos;
- Melhorar a qualidade da comunicação entre projetistas, instaladores e operadores dos edifícios, permitindo uma tomada de decisão mais rápida e melhor sustentada em dados concretos;
- Listar materiais e estimar quantidades. As necessidades em termos de componentes, elementos e materiais podem ser geradas automaticamente e de forma correta. Permite a redução de erros e custos no processo de medição e estimação, para além de uma melhor perceção dos custos;
- Permite uma melhor organização do plano de trabalhos, logística necessária e na calendarização dos diversos intervenientes. A melhoria do planeamento das atividades necessárias faz-se através de mecanismos 4D, onde se adiciona a evolução física dos elementos BIM em termos de tempo. Nesta vertente, há que salientar as melhorias das condições de saúde e segurança no trabalho que a ferramenta proporciona;
- Permite ao gestor do edifício recolher a informação necessária para melhorar o desempenho do edifício, e definir medidas de prevenção mais adequadas;
- Visualização, animação e realidade virtual permitindo evidenciar com mais eficácia as opções na tomada de decisão. Isto é, melhor perceção de erros no modelo e diminuir a possibilidade de erros por incoerência.

Grilo e Tavares (2008) referem ainda que a elaboração das telas finais de acordo com o que realmente ficou construído e instalado no edifício, permite agilidade em termos de transferência

dos dados para as aplicações que irão gerir o ativo no futuro. Claramente, é um benefício ter no modelo toda a informação relativamente ao que ficou construído, bem como todas as necessidades de manutenção preventiva ou sustentar intervenções de manutenção corretiva.

A informação disponível num projeto desenvolvido com base BIM trará agilidade e resiliência à gestão da manutenção, sem necessidade de recriação de modelos ou de dados. Verifica-se que o BIM mostra ser uma ferramenta aplicável para a eficiência da gestão da manutenção, nomeadamente contribuindo para o aumento da taxa de manutibilidade dos sistemas e equipamentos em edifícios.

4.6.4. Interoperabilidade do BIM com *software* de gestão da manutenção

O uso do computador e o desenvolvimento de ferramentas informáticas para a gestão da manutenção desencadeou-se nos finais dos anos 70. Na sua maioria, as aplicações informáticas que muitas organizações utilizavam para a manutenção na década de 1980, dependiam de bases de dados centrais que continham informação relativa às avarias, reparações e atividades da manutenção.

No âmbito dos edifícios, Khosrowshahi e Alani (2011) referem que, na década de 1990 desenvolveram-se sistemas de gestão de instalações (edifícios) utilizando aplicações CAD, tal como o *software* “FrontLine”. Outros permitiam o registo e a análise de dados do ciclo de vida das instalações, sistemas e componentes dos edifícios.

Desde então, muitos trabalhos e projetos de investigação têm abordado questões semelhantes e contribuído no desenvolvimento de aplicações para a otimização de aspetos ambientais, económicos e de opções de projeto, valorizando as principais prioridades do proprietário do edifício. Várias ferramentas foram desenvolvidas com o intuito de apoiar a decisão para melhoria ambiental, sustentabilidade, conservação de energia, associando estratégias financeiras e com a preocupação na antecipação da degradação dos edifícios. Contudo, estas ferramentas mostravam limitações na observação de cenários e não permitiam uma modelação integrada.

Tal como apresentado no número 2.6.4., um *software* de gestão da manutenção é designado por CMMS (*Computerized Maintenance Management System*) e tem como principal objetivo a organização e otimização da manutenção. À semelhança das aplicações destes sistemas na indústria da produção, um CMMS também pode apoiar a manutenção em edifícios.

Usufruir de um modelo de construção BIM para gestão de instalações pode exigir a aquisição de ferramentas específicas BIM para o edifício em causa. Ora, esta solução não é atrativa nem trás vantagens para a gestão dos edifícios, caso não permita a partilha de informação com outras ferramentas informáticas. Torna-se necessária a interoperabilidade entre os modelos BIM e o *software* CMMS. Um dos desafios com a transferência do BIM para o CMMS é os protocolos e os formatos dos ficheiros comuns nas ferramentas BIM não serem facilmente aceites pelas ferramentas CMMS. Neste âmbito, Eastman *et al.* (2011) indica que a iniciativa de protocolo

COBie2, tem como objetivo apoiar o intercâmbio de informação de manutenção a partir de modelos BIM.

O COBie (*Construction Operations Building information exchange*) soluciona a transmissão de informação entre as equipas de construção e do proprietário. Para o proprietário é importante informação relevante à operação e manutenção das instalações, bem como informação geral para a gestão dos edifícios. Eastman *et al.* (2011) refere que COBie delinea um método normalizado para a recolha de informações necessárias durante o processo de projeto e construção, como parte do pacote de entrega para o proprietário. Assim, são recolhidos os dados dos projetistas, uma vez que definem o projeto, e depois recolhido dados dos empreiteiros, como o edifício é construído. Essas informações são classificadas e estruturadas de maneira prática e fácil de implementar com importação direta para o sistema de gestão da manutenção do proprietário. Desta forma é fornecida toda a informação sobre o empreendimento, sem custos adicionais para a operação e manutenção.

O COBie foi atualizado no início de 2010 e agora chama-se COBie2. Para além de alterações funcionais para distintas aplicações, o COBie2 também foi implementado para troca de dados de gestão de instalações usando o *buildingSMART Industry Foundation Class* (IFC).

O uso de BIM para apoiar a gestão de instalações está ainda na sua infância e essas ferramentas só recentemente se tornaram disponíveis no mercado.

Eastman *et al.* (2011) apresentam um estudo de caso no projeto de construção do *Maryland General Hospital*. Neste projeto a equipa de manutenção trabalhou com a equipa de construção para tornar possível a transferência do modelo de construção a ser usado no apoio à operação e manutenção, integrando ferramentas BIM com um CMMS. Este estudo de caso demonstra o uso do BIM em conjunto com tecnologias móveis durante a fase final de um projeto de um hospital e mostra como o BIM pode ser efetivamente usado para configurar um processo eficiente de gestão de instalações. Neste projeto, houve o interesse de compilar um sistema de informação de modelação de construção, para apoiar posteriormente atividades de gestão das instalações integrando os modelos MEP, os dados estruturais e dados que descrevem os equipamentos e o seu estado.

Um sistema de dados disponível em todo o momento ajuda a eliminar desperdícios, nomeadamente de tempo, na gestão das instalações, na otimização e aumento do ciclo de vida dos equipamentos, aumento da eficiência da manutenção preventiva, entre outros.

A integração destas ferramentas e sistemas não é ainda muito comum na indústria da construção. Mas, Eastman *et al.* (2011) justifica que existe já tecnologia que pode sincronizar um modelo BIM com outros sistemas, como é o caso dos CMMS, e que esta metodologia pode efetivamente ser utilizada para permitir um processo eficiente e ágil de gestão de edifícios.

A Figura 4.2 apresenta um possível modelo, desenvolvido para a integração de um modelo de informação BIM com um sistema CMMS no processo de gestão da manutenção de um edifício.

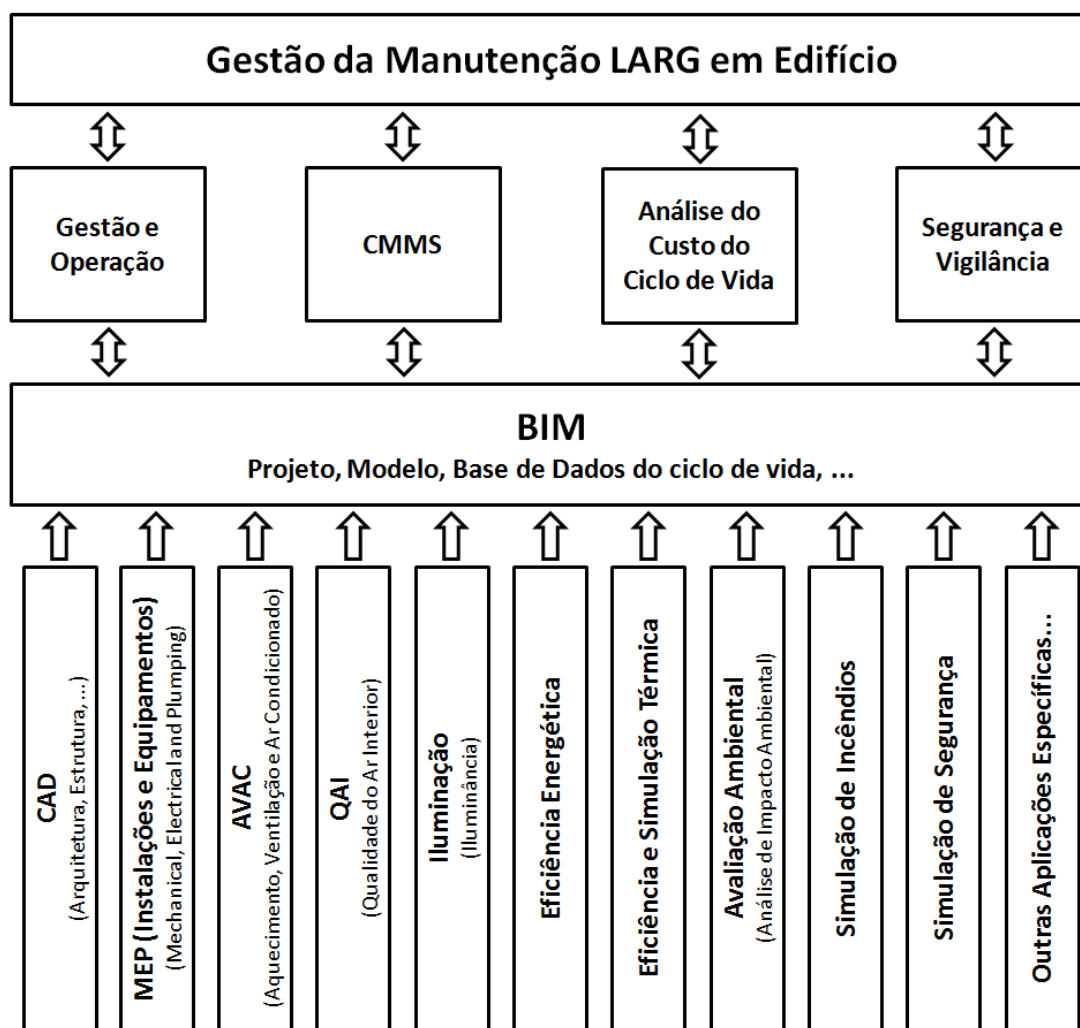


Figura 4.2 – Integração do BIM com CMMS no processo de gestão da manutenção

Khosrowshahi e Alani (2011) afirmam que com o avanço na tecnologia BIM e com uma maior colaboração e integração da informação das várias disciplinas, a capacidade de simular o comportamento dos elementos, baseados no tempo, pode permitir decisões relativas ao planeamento e programação da manutenção. Principalmente se essas ferramentas são assistidas com representação visual no processo de envelhecimento do edifício. Esta premissa está relacionada com o conceito de visualização 4D que reflete o estado do edifício ao longo do tempo.

O BIM fornece a geometria precisa e dados relevantes para apoiar os serviços de manutenção de instalações em edifícios, representadas em 3D orientado a objetos CAD. Lin e Su (2013) propõem uma metodologia, de apoio ao pessoal da manutenção, baseada em BIM com aplicação na gestão da manutenção de instalações em edifícios. Com o sistema desenvolvido, o pessoal da manutenção pode aceder e analisar modelos BIM 3D, assim como atualizar e registar dados relacionados com as atuações realizadas, tudo num formato digital. Para estes autores, uma grande vantagem deste modelo desenvolvido é, também, a versatilidade de toda a gestão de informação e comunicação ser feita com ausência de papel.

A aplicação que Lin e Su (2013) desenvolveram consiste em fornecer uma plataforma para a partilha de informação ao pessoal da manutenção, utilizando *notebooks* ou *tablets* com *webcam*. A integração de tecnologias *web* (ligações por internet) com o BIM e mecanismos de entrada de dados pode ajudar a melhorar a eficiência e conveniência do fluxo de informação no processo de gestão da manutenção das instalações. Embora já existam algumas aplicações práticas para o uso do BIM na gestão da manutenção, são atualmente para uso em plataformas fixas, limitando a consulta dos modelos BIM no local durante o processo de manutenção e inspeção. O principal objetivo da metodologia desenvolvida pelos autores visa, através de tecnologia *web*, permitir uma rápida ligação ao modelo BIM correspondente de uma instalação e aceder a informação necessária durante a operação da manutenção.

Lin e Su (2013) apresentam um caso de estudo para validar a metodologia e a aplicação desenvolvida. Relatam que a aplicação permitiu ao pessoal da manutenção aceder ao modelo BIM, a informação detalhada tal como instruções de manutenção, notas, listas de acessórios e, permitiu o registo dos resultados da atuação, tudo isso editado através de um *tablet*. A informação introduzida foi atualizada no sistema de gestão da manutenção no momento e, desse modo, pôde de imediato ser partilhada por todos os que lhe tinham acesso. Os autores referem que a informação disponível em ambiente BIM e em tempo real facilita a atuação e todo o processo da manutenção. Contudo, a informação necessitou de ser transferida através de ficheiros pequenos para possibilitar o seu processamento com os dispositivos móveis, restringindo assim a consulta ao modelo global. A aplicação ajudou a melhorar o trabalho e segundo os autores tem potencial para melhorar continuamente o trabalho das equipas de manutenção.

Lin e Su (2013) concluem que a integração da tecnologia BIM com as tecnologias *web* apoia os gestores e o pessoal da manutenção na monitorização e controlo de forma eficaz de todo o processo de gestão da manutenção das instalações em edifícios. Embora ainda necessite de alguns desenvolvimentos e correções, o sistema proposto demonstrou potencial para resultados promissores.

4.6.5. Contributos do BIM para uma manutenção LARG

A pesquisa bibliográfica sobre o tema BIM foi abrangente e possibilitou também integrar os seus contributos na modelação da gestão da manutenção LARG (*Lean, Agile, Resilient e Green*) em edifícios.

Evidencia-se que o BIM pode proporcionar agilidade (*Agile*) e resiliência (*Resilient*) à manutenção, para além de permitir uma gestão mais otimizada e eficiente (*Lean*) e a análise de medidas e práticas ambientalmente (*Green*) mais corretas nas atuações da manutenção, ao longo do ciclo de vida dos edifícios. O BIM, como metodologia e ferramenta, evidencia benefícios que podem contribuir para o melhor desempenho da manutenção, para a gestão proativa e na perspetiva de melhoria contínua.

O BIM apresenta ser uma metodologia com versatilidade para apoio à manutenção, uma vez que pode fornecer, de forma rápida e inteligível, a informação necessária para qualquer operação de manutenção. O modelo permite fáceis atualizações da informação da gestão da manutenção num ambiente de CAD 3D.

O avanço da tecnologia BIM, a sua interoperabilidade com *software* CMMS e a sincronização com ferramentas de análise e simulação de fenómenos nas várias especialidades de atuação da manutenção, são porventura aspetos importantes que tornam relevante a integração de modelos BIM para apoio das atividades e gestão da manutenção.

Uma manutenção LARG requer ferramentas e metodologias que permitam o rápido acesso a toda a informação do ciclo de vida do edifício, que ajude na redução de desperdícios (materiais, tempo, custo e acidentes), que apoie na tomada de decisão, no planeamento das ações técnicas (preventivas, corretivas e disruptivas de emergência), que permita melhorar o desempenho das equipas de manutenção, que auxilie na melhoria de eficiências funcionais (ambiental, energética, conforto térmico, acústica, iluminação, segurança, entre outras) e, acima de tudo, que proporcione um ambiente colaborativo e estimulante para os colaboradores de uma organização. Apoiar as atividades da manutenção, através de ferramentas informáticas com representação visual (3D) de todo o edifício, pode contribuir para o aumento da produtividade, eficiência e motivação do pessoal da manutenção.

O BIM estimula a experimentação, o que para a manutenção vem contribuir para a sua capacidade de solucionar questões com mais abrangência de materiais diferentes, tempos distintos e mesmo métodos diversificados. Isto é, potencializa mais simulação e a capacidade de experimentação para uma melhor gestão da manutenção. Esta ênfase prende-se também com o incentivo e o envolvimento dos colaboradores na qualidade do serviço e na melhoria contínua das instalações, na fiabilidade e disponibilidade dos seus ativos.

O BIM facilita também a análise e a revisão de todas as instalações e sistemas em cenários de funcionamento diferentes, seja por razões de sobrecarga dos serviços, razões climatéricas, energéticas, segurança, entre outras.

Devido à ampla dimensionalidade dos modelos BIM (2D), (3D), (4D), (5D) ou mesmo (nD), a modelação de toda a informação pode contribuir para melhores decisões, na aquisição de materiais e/ou melhor otimização nas atuações das equipas de manutenção. Essa modelação, utilizando as variáveis custo e tempo, vem atribuir um carácter mais confiável à gestão da manutenção e também da operação dos edifícios.

A principal vantagem na modelação 5D (modelo 3D + tempo + custo) ou mesmo (nD) para a manutenção são o aumento da precisão nas atuações, com menor desperdício de tempo, de materiais e de retrabalho, minimizando os custos. É sem dúvida uma vantagem na direção do paradigma *Lean*.

O estudo e análise das instalações e sistemas, com possibilidade de visualização tridimensional, dispondo de toda a informação abrangente ao edifício, contribuem para a agilidade da

manutenção e das suas atuações operacionais. Por exemplo, a análise e acompanhamento de sistemas de AVAC, iluminação, vapor de água (água quente), qualidade do ar interior, entre outras.

Os modelos BIM podem auxiliar a manutenção quer nas suas funções primárias quer nas secundárias:

- Nas funções primárias, auxiliando na gestão das suas atividades relacionadas com o trabalho diário de manutenção de sistemas, equipamentos, ou seja, dos ativos em geral;
- Nas funções secundárias, auxiliando as atividades que, por razões de experiência e conhecimento sobre os ativos, é atribuída a sua gestão à manutenção. Como por exemplo, estudos de novos projetos, segurança, limpezas e higiene, conforto térmico, qualidade do ar interior (QAI), eficiência energética e gestão de energia, consumo de água, certificação ambiental, gestão de resíduos, entre outros.

Numa perspetiva de auxílio à manutenção corretiva, um modelo BIM pode ser utilizado como base para a visualização da localização de uma avaria ou falha num sistema ou equipamento, detendo informação detalhada sobre a mesma e que a permita facilmente identificar e/ou diagnosticar. Por outro lado, a informação disponível no modelo associado aos objetos visualizados pode também, com maior eficácia, contribuir para a reposição do seu estado de funcionalidade, na programação dos trabalhos, na apta substituição ou no processo de aquisição de novo equipamento para substituição.

As ações de manutenção corretiva exigem prontidão e eficiência dos operadores de manutenção, obrigando a meios de intervenção com a máxima disponibilidade, para que os equipamentos, no mais curto espaço de tempo, estejam operacionais. Estes benefícios do BIM contribuirão para a agilidade das equipas de manutenção, pois proporcionam uma gestão mais racional e rápida planificação de ações corretivas.

Em situações disruptivas de emergência, o BIM pode proporcionar o aumento da capacidade da manutenção para superar e recuperar de adversidades. A facilidade de aceder à informação, a rápida atuação e a prontidão de meios, capacita (habilita) a manutenção para a correção de inesperados problemas graves e situações de rutura da funcionalidade do edifício. O BIM pode tornar a manutenção mais resiliente às adversidades, possibilitando intervenções eficazes na reposição integral das propriedades das instalações e dos ativos, ou possibilitar a melhor operacionalidade satisfatória possível.

No contexto da manutenção preventiva, também a informação disponível no modelo BIM pode ser utilizada para o seu planeamento e programação. A manutenção preventiva pressupõe a intervenção dos serviços de manutenção num momento devidamente planeado e atuar do modo programado, antes da data provável de ocorrência de falhas ou avarias. Um modelo BIM disponível para os serviços de manutenção, auxilia no planeamento das intervenções preventivas e pode acompanhar as ações com a informação e como modelo para simulação das condições funcionais dos sistemas e eficiência dos mesmos.

A agilidade nas ações preventivas de manutenção conduz à redução de custos de manutenção e permite aumentar a fiabilidade dos sistemas.

A influência dos resultados de estudos prévios à construção de edifícios e instalação de equipamentos e sistemas pode beneficiar a sua manutibilidade, ou seja, a aptidão e rapidez com que os diferentes ativos, após avaria podem ser repostos no seu estado operacional. Um modelo BIM, associado a uma ferramenta CMMS, podem conter toda a informação que pode ser considerada útil para assistir as atividades de manutenção.

A interoperabilidade entre os modelos BIM e o *software* de gestão da manutenção (CMMS) beneficia a sua eficiência e contribui para a qualidade do funcionamento e operação dos ativos nos edifícios. Assim, também a informação resultante da gestão da manutenção pode ser associada ao modelo virtual BIM e, desta forma, estar disponível sempre que solicitada a sua consulta, quando selecionado um determinado item ou objeto representado.

Esta realidade aplica-se tanto para a manutenção preventiva sistemática como na sua vertente condicionada. Por exemplo, os resultados e as análises termográficas estarem disponíveis na base de dados do sistema de gestão, acompanhamento em contínuo de condições de conforto térmico, climatização, qualidade do ar interior, iluminação, entre outros, através do modelo virtual BIM parametrizado com sistemas de leitura (on-line) distribuídos pelo edifício. Isto significa, vigilância constante (permanente), ou sempre que solicitada, dependendo das condições de funcionamento dos equipamentos, podendo alertar para intervenções necessárias da manutenção.

No contexto de um determinado negócio sediado numa edificação, o BIM pode responder às exigências necessárias para o alcance de vantagem competitiva, na qualidade duma imagem ou até no suprimento de algum incumprimento. A agilidade e resiliência conferida pela utilização do BIM podem melhorar a qualidade do serviço, a redução de custos e logo, a satisfação do cliente.

Atualmente, vivemos na era da consciencialização do limite da capacidade ecológica da terra e a sociedade mundial está mais exigente nas questões ambientais. O modelo BIM permite integrar diversas ferramentas para a análise do impacto ambiental, da eficiência energética e a simulação de práticas da manutenção ambientalmente recomendadas. O BIM pode apoiar no estudo e na tomada de decisão das práticas e recursos no âmbito de *green maintenance* em edifícios.

Em suma, os modelos BIM potencializam o desempenho na gestão da manutenção, nomeadamente, podem até ser baseadas em critérios económicos e que otimizam o estado global de posse do equipamento ao longo do ciclo de vida nos edifícios.

Em forma de síntese, no Anexo I são expostos 4 quadros com os principais contributos e/ou benefícios que o BIM pode fornecer à gestão da manutenção em integração com os paradigmas LARG.

O modelo BIM revela ser uma excelente metodologia para apoiar as ações de manutenção em edifícios através de uma visualização realista e desenhos rigorosos. As ferramentas BIM têm capacidade para armazenar informação relativa à construção e de todo o ciclo de vida dos edifícios. A informação capturada pela manutenção pode ser atualizada, o que torna o modelo BIM

apto para consultas, simulações e otimização do planeamento da manutenção preventiva e assistir nas ações de manutenção corretiva. Um sistema BIM com uma base de dados rigorosa permite que o utilizador possa identificar ativos e componentes diretamente sobre o modelo, consultar dados sobre anomalias, associar causas prováveis, soluções recomendadas, técnicas e ferramentas para a reparação, entre outros.

As ferramentas BIM permitem, com precisão e rapidez, melhor planeamento e transparência do processo de manutenção, a diminuição da probabilidade de erro e a motivação entre os intervenientes do processo de manutenção. Durante um processo de manutenção, o pessoal responsável pela manutenção do edifício pode aceder ao modelo digital com o objetivo de obter a informação desejada ou de inserir novos dados, sendo garantido que qualquer alteração efetuada no modelo gera automaticamente uma atualização. Para uma manutenção LARG em edifícios são necessários modelos abrangentes e que assegurem o seu desempenho na resposta às necessidades técnicas, económicas e competitivas atuais.

A Figura 4.3 apresenta as principais contribuições da metodologia BIM na integração com a manutenção LARG em edifícios.

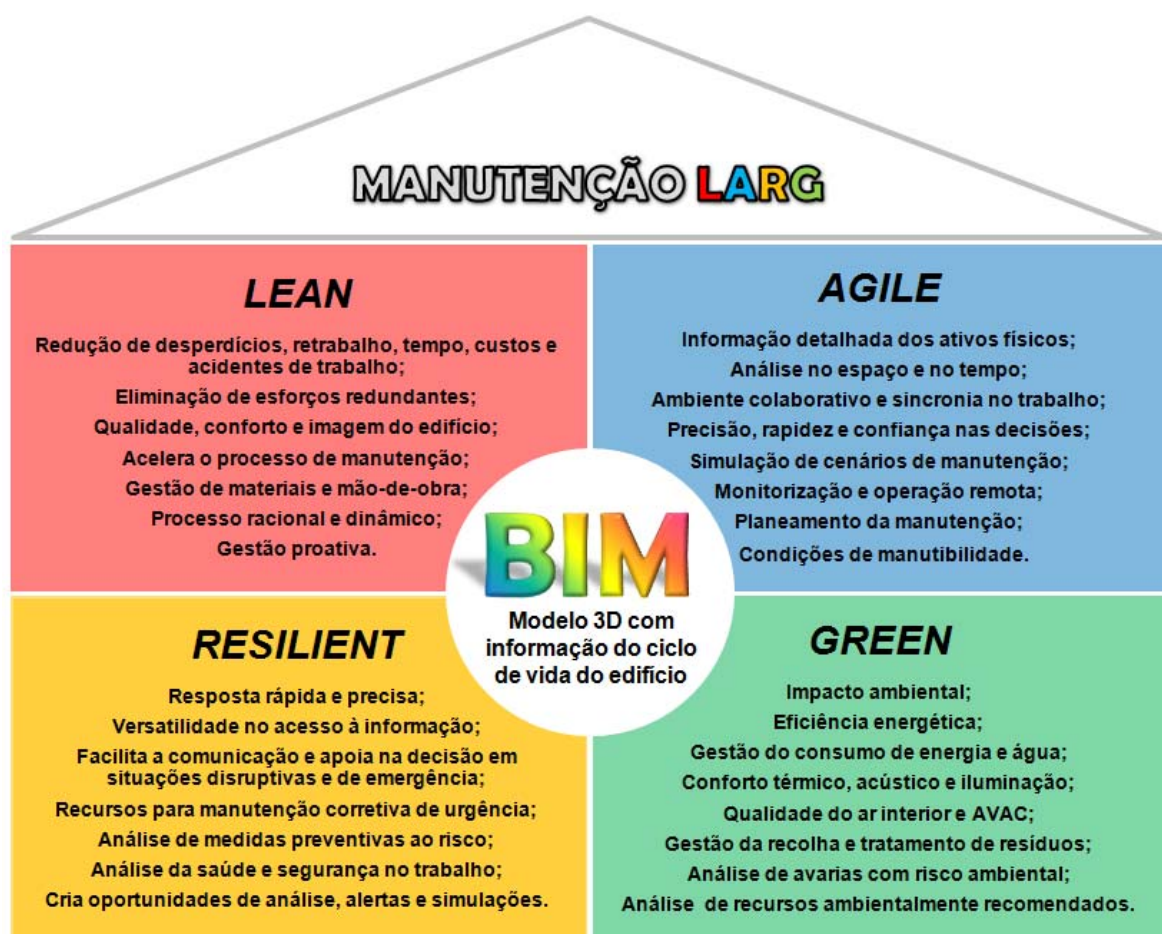


Figura 4.3 – Contribuições do BIM na integração com a manutenção LARG

Os gestores da manutenção em edifício devem recorrer à implementação de modelos BIM com a integração de *software* CMMS para apoio das suas atividades e, dessa forma, beneficiar de ganhos de produtividade e melhor desempenho dos serviços de manutenção que revelam ser significativos segundo o conceito LARG.

Embora existam ainda alguns problemas de interoperabilidade e poucas aplicações na operação e manutenção, acredita-se que, num futuro próximo, a implementação do BIM será generalizada. Nomeadamente acredita-se que a sua aplicabilidade fortalecer-se-á em infraestruturas e empreendimentos de organizações de capital intensivo. Os passos a dar nesse sentido passam pelos contributos e desenvolvimentos fornecidos pela comunidade científica, pela perseverança e evidência dos seus contributos em trabalhos académico e pela introdução destes modelos na formação de profissionais para a manutenção, nomeadamente em cursos de engenharia.

Por outro lado, vários países detentores de economias sólidas, considerados como visionários e pioneiros nas novas tecnologias, apostaram fortemente na investigação e desenvolvimento do BIM, considerando-o como essencial entre as suas estratégias de crescimento. Através de diferentes estratégias, países desenvolvidos económica e tecnologicamente, apostaram já no BIM como metodologia do presente e do futuro. Nomeadamente, pela implementação da tecnologia BIM como plataforma obrigatória na entrega de novos projetos para a construção de edifícios.

Note-se que a implementação desta nova tecnologia de modo abrangente requer esforço, não só ao nível financeiro, mas também no tempo de aprendizagem. Verifica-se que em Portugal são poucas as empresas projetistas e construtoras a utilizar os modelos BIM, devendo-se este facto à pouca formação de base académica e em BIM, ao desconhecimento e à não exigência deste modelo de trabalho por parte dos donos de obra.

A aplicação do BIM na manutenção presume-se ser mais vantajosa nos casos em que o modelo BIM do edifício, com todas as suas instalações e ativos, tenha sido concebido numa fase a montante da sua construção e montagem.

Os modelos BIM revelam ser uma ferramenta excelente em sintonia com o conceito LARG para a manutenção em edifícios, essencialmente devido à sua grande capacidade de armazenar informação, associada à representação tridimensional, tudo numa única plataforma. São portados modelos expeditos e promissores que interoperáveis com outras ferramentas informáticas da manutenção podem contribuir na resolução de problemas cada vez mais complexos, na otimização das tarefas cada vez mais exigentes e na resposta às necessidades de melhoria contínua cada vez mais rigorosas.

O BIM fornece uma visão inovadora e abrangente na resposta às necessidades técnicas e económicas da manutenção LARG em edifícios, nomeadamente face ao panorama competitivo atual.

CAPÍTULO 5

MODELOS DE APOIO MULTICRITÉRIO À DECISÃO

5.1. Introdução

A decisão está fortemente relacionada com a comparação de diferentes pontos de vista, alguns a favor e alguns contra uma determinada decisão, ou seja, está relacionada com uma pluralidade de pontos de vista, que podem ser definidos como critérios (Figueira *et al.*, 2005).

Este capítulo é exclusivamente dedicado à apresentação de modelos de apoio multicritério à decisão, com interesse para os estudos a que se propõe este trabalho. Na prossecução da metodologia desenvolvida, recorrer-se-á a métodos de apoio multicritério à decisão, com o intuito de auxiliar os intervenientes do processo de decisão a progredir, de acordo com os seus conhecimentos e preferências. A tomada de decisão na seleção de indicadores para a medição do desempenho da manutenção pode ser auxiliada, recorrendo a modelos de apoio multicritério à decisão (Gonçalves *et al.*, 2014a; Gonçalves *et al.*, 2014b). Este capítulo tem como objetivo fazer um enquadramento do apoio multicritério à tomada de decisão, nomeadamente, fazer uma breve revisão de conceitos e modelos que serão utilizados neste trabalho.

Estes modelos multicritérios têm como objetivo auxiliar os intervenientes do processo de decisão, pelo menos de um tomador de decisão, a fazer a avaliação de um conjunto finito de alternativas (ações, soluções, orientações,...) através de, pelo menos dois critérios, os quais estão geralmente em conflito.

Neste capítulo apresentam-se métodos, metodologias e abordagens de apoio multicritério à tomada de decisão com a finalidade de avaliar e ordenar possíveis alternativas, ou seja, conjuntos de indicadores de desempenho da manutenção. O objetivo é tornar possível a seleção daqueles que se revelem de maior interesse para uma avaliação da gestão da manutenção LARG.

Entre os diversos métodos e metodologias desenvolvidos até então, e disponíveis na literatura, merecem destaque os métodos da família ELECTRE, em especial aqueles que se destinam a tratar de problemas de ordenação de alternativas, introduzindo ponderações nos critérios de decisão a adotar. Houve a preocupação em recorrer a publicações científicas, fontes fidedignas e atuais para a recolha de elementos e para apresentar modelos de decisão mais utilizados e atualmente considerados mais adequados e “exatos”.

Para alguns dos métodos apresentados e utilizados na dissertação, é exposta a sua formulação matemática de forma mais cuidada e precisa, uma vez que foi necessário a sua programação para implementar os respetivos algoritmos numa ferramenta informática. Os procedimentos desses

métodos foram programados através do conhecido *software* “Microsoft Office Excel”, por meio da linguagem VBA (*Visual Basic for Applications*), para permitir resultados através de cálculo computacional de forma apta e rápida. A ferramenta informática concebida permite que qualquer decisor, mesmo que não familiarizado com os procedimentos matemáticos dos métodos, introduza os dados de avaliação de acordo com a sua preferência e obtenha resultados para a resolução de problemas de ordenação com várias alternativas e critérios. Para outros métodos, foi utilizado *software* concebido e disponibilizado gratuitamente na internet por entidades de investigação e autores de trabalhos nesta área do conhecimento científico.

5.2. Apoio Multicritério à Decisão

Tomar em consideração múltiplos critérios poderá ser benéfico num processo de decisão, uma vez que a explicitação de vários critérios poderá ajudar a evidenciar o carácter conflituoso de diferentes pontos de vista. O objetivo do apoio à decisão não é resolver problemas, mas sim ajudar a obter respostas. É portanto o de ajudar o decisor (ou decisores) a agir de acordo com as suas preferências. O apoio à decisão é multicritério quando se tornam explícitos vários pontos de vista através de critérios. Por esse motivo, fará sentido a referência a “apoio multicritério à decisão” em detrimento de “apoio à decisão multicritério”.

Segundo Roy (1996), como citado em Rocha (2011), a ajuda multicritério à decisão visa construir modelos que façam intervir de forma explícita, múltiplos critérios de avaliação, constantemente sujeitos à análise crítica dos intervenientes no processo de decisão, capazes de ajudar cada interveniente a moldar as suas preferências e a encontrar argumentos para sustentar, em conformidade com os seus múltiplos objetivos (frequentemente conflituosos). Os modelos multicritérios de decisão estão intimamente relacionados com a forma como os seres humanos sempre tomaram decisões (Figueira *et al.*, 2005).

Apoio multicritério à decisão é a tradução da expressão *Multiple Criteria Decision Aiding* (MCDA). Este termo bem conhecido está relacionado com a análise e resolução de problemas de decisão, que envolvem múltiplos critérios e são considerados um importante ramo da investigação operacional. A terminologia MCDA é atualmente mais utilizada na Europa em referência aos modelos multicritérios de decisão, como por exemplo podemos encontrar em Tervonen *et al.*, (2009), Figueira *et al.* (2013) e Corrente *et al.* (2013). Porém, é frequente encontrar na literatura outros autores que se referem a estas matérias como *Multiple Criteria Decision Making* (MCDM), como mencionado por Chareonsuk *et al.* (1997), Al-Najjar e Alsyouf (2003), Wang *et al.* (2007), Diaz-Balteiro e Romero (2008), Wu e Chen (2011), Kya e Kahraman (2011) e por Yazdani-Chamzini *et al.*, (2013), ou *Multi-Criteria Decision Analysis* (MCDA) como mencionado por Marbini e Tavana (2011), Ishizaka *et al.* (2012) e por Botti e Peypoch (2013), sendo que, são designações diferentes para o mesmo conceito.

O objetivo é auxiliar os tomadores de decisão a tomar decisões quando várias alternativas são avaliadas por múltiplos critérios, que na maioria dos casos são conflituosos. Figueira *et al.* (2013) defendem que o termo “apoio à decisão” (*decision aiding*) reflete melhor a perspectiva construtiva

do processo de decisão, ao passo que, “suporte à decisão” (*decision support*), “tomada de decisão” (*decision making*) ou “análise de decisão” (*decision analysis*) são meramente assimilações simplistas e estão mais perto de perspetivas normativas e prescritivas. Contudo, qualquer um dos termos generaliza o conceito de tomada de decisão através da avaliação de vários critérios.

Doravante, considerar-se-á a terminologia MCDA como forma de referência ao conceito dos modelos de apoio multicritério à decisão, sem contudo pretender-se atribuir um carácter exclusivo. Na literatura portuguesa encontram-se, frequentemente, algumas abordagens neste âmbito, aplicando o termo Modelos/Métodos de Apoio Multicritério à Decisão (MAMD).

Para alguns autores, os modelos de apoio à decisão podem ser divididos em duas categorias principais: *Multiple Objective Decision Making* (MODM) e *Multiple Attribute Decision Making* (MADM). Estas concepções são mencionadas por Yoon e Hwang (1995), Pohekar e Ramachandran (2004), Zhou *et al.* (2006), Zandi e Roghanian (2013) e denotadas também em Yazdani-Chamzini *et al.* (2013). Na literatura, a sigla MCDA é muitas vezes usada para indicar tanto métodos MADM como métodos MODM. Contudo, nos tempos atuais, é mais comum a distinção de dois grandes grupos de problemas de decisão a que se associam abordagens metodológicas distintas. É sustentado em Rocha (2011) que, a análise com múltiplos critérios sobre um conjunto finito de soluções explicitamente conhecido, designa-se habitualmente por análise multicritério. Por outro lado, quando o conjunto das soluções admissíveis é infinito, definido implicitamente por restrições analíticas, Rocha (2011) diz referir-se à programação matemática multiobjetivo.

Nos problemas multiobjetivo são empregues modelos de programação de múltiplos objetivos para otimizar um conjunto de objetivos conflitantes, sujeitos a um conjunto de restrições definidas matematicamente (Zhou *et al.*, 2006). O objetivo é determinar as variáveis de decisão, otimizando um conjunto de funções num domínio contínuo, que satisfaçam um conjunto de restrições e preferências do tomador de decisão. Um modelo de programação matemática multiobjetivo considera um vetor de variáveis de decisão, funções objetivo e restrições. Os tomadores de decisão visam maximizar ou minimizar as funções objetivo. Os problemas multiobjetivo caracterizam-se assim por envolverem um número infinito de alternativas. Uma aplicação de métodos MODM, no campo da manutenção, pode ser encontrada em Quan *et al.* (2007), onde os autores apresentam um algoritmo para resolver um problema de programação de manutenção preventiva.

A análise multicritério refere-se à tomada de decisão por preferência, através da avaliação e prevalência das alternativas disponíveis que são geralmente caracterizadas por múltiplos atributos (critérios) conflitantes (Yoon e Hwang, 1995). Os problemas MCDA, geralmente, envolvem variáveis discretas, que são um número finito de alternativas pré-especificadas a serem avaliadas através de um conjunto de critérios. Utilizando medidas adequadas, o tomador de decisão avalia as alternativas em relação a cada um dos critérios ponderados, construindo-se uma matriz de decisão (também denominada matriz de preferências), a partir da qual cada método extrai um resultado ou classificação. A melhor alternativa, na generalidade destes métodos, é selecionada

por comparação entre alternativas com respeito a cada critério. Na Figura 5.1 é apresentado um esquema generalista do processo de decisão por multicritérios.

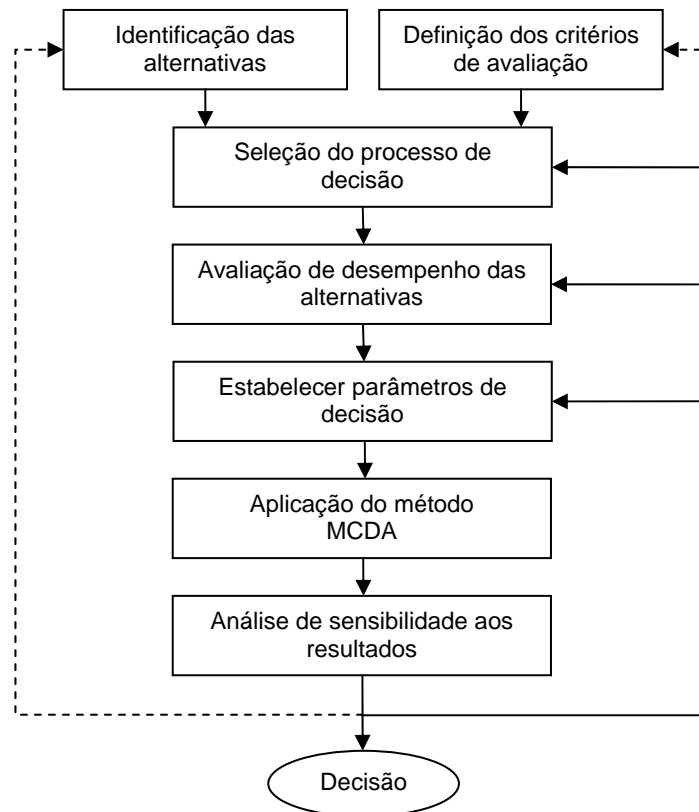


Figura 5.1 – Processo de decisão por multicritérios
Adaptação de Pohekar e Ramachandran (2004)

Relativamente ao número de decisores ou tomadores de decisão, os métodos podem também ser classificados como “método de decisor único” ou como “método para um grupo de decisores” (GDM – *Group Decision Making*).

Existem inúmeros métodos MCDA, alguns dos quais são resumidamente explicados por Pohekar e Ramachandran (2004) e Zhou *et al.* (2006). Em Zandi e Roghanian (2013), destacam-se também os principais e populares métodos de apoio multicritério à decisão, amplamente utilizados em ciência, gestão governamental e engenharia. Koksalan *et al.*, (2013) apresentam um resumo histórico das principais contribuições para o desenvolvimento das metodologias multicritério de tomada de decisão até à atualidade.

No contexto do apoio à decisão, Roy (1991), Roy (1996) e Figueira *et al.* (2013) referem que existem três principais tipos de problemas de decisão:

- Escolha (*choosing*) – um problema de escolha consiste na seleção de uma única “melhor” alternativa ou um pequeno subconjunto de alternativas consideradas como as “melhores” alternativas ou incomparáveis;

- Classificação (*sorting*) – um problema de classificação consiste em atribuir cada alternativa a uma classe ou categoria apropriada pré-definida, e ordena-las de acordo com a preferência;
- Ordenação (*ranking*) – um problema de ordenação consiste na ordenação de todas as alternativas da “melhor” para a “pior”, ou seja, as alternativas são ordenadas por ordem decrescente da sua preferência.

Contudo, estas problemáticas podem não ser trabalhadas de forma independente. Por exemplo, a ordenação pode servir de base para uma escolha ou classificação.

Ao examinar-se a vasta literatura disponível, constatou-se a existência de enorme diversidade de métodos e metodologias MCDA. Nas últimas quatro décadas foram desenvolvidos inúmeros métodos e metodologias MCDA que podem ser classificados consoante o tipo de abordagem, quanto ao processo de exploração do problema e técnicas utilizadas, pela forma como se consideram os critérios e preferências dadas pelo decisor, quanto à origem dos seus desenvolvimentos, entre outras. No entanto, para muitos autores a maior distinção depende da forma de implementação do processo de decisão. Neste trabalho de investigação apresentam-se apenas aqueles que, na prática, se consideram ter maior expressão.

O ELECTRE é um método MCDA, de agregação não compensatória, com variantes para aplicações a vários tipos de problemas de tomada de decisão e baseia-se na lógica do modelo da prevalência. O seu desenvolvimento iniciou-se no final dos anos 60 e atualmente é um dos métodos multicritério mais conhecido e cada vez mais utilizado na prática.

5.2.1. Método ELECTRE

O acrónimo ELECTRE significa “*ELimination Et Choix Traduisant la REalité*”, ou seja, Eliminação e Escolha Expressando a Realidade. Consiste numa família de métodos MCDA bem conhecida e desenvolvida pelo francês Bernard Roy. Os contributos para o primeiro método foram inicialmente dados por Bernayoun, Roy e Sussman em 1966, porém, o primeiro método ELECTRE foi apresentado e aplicado em Roy (1968). Posteriormente, o método foi melhorado por Roy em 1971. O intuito do método foi resolver um problema de escolha da melhor ação (alternativa) de um conjunto de ações, tendo em consideração vários critérios, que influenciavam a escolha. Atualmente, o método ELECTRE é um dos métodos multicritério mais conhecido e cada vez mais utilizado na prática.

A abordagem ELECTRE utiliza um modelo de preferência baseada na construção de relações de prevalência (*outranking relations*) por comparações entre pares de alternativas, utilizando o conceito de concordância e de discordância. Relações de prevalência é a tradução possível para “*surclassment*”, nome dado por Bernard Roy e adaptado na literatura anglo-saxónica como “*Outranking Relations*”.

O ELECTRE I foi o primeiro método de apoio à decisão utilizando o conceito de relação de prevalência (Roy, 1968) e foi originalmente concebido para gerar resultados do tipo “escolha”. A abordagem ELECTRE evoluiu para enumeras variantes com base no mesmo conceito, abrangendo os diversos tipos de problemas de decisão.

Na Tabela 5.1 são apresentadas as principais variantes do método ELECTRE, cada qual para a resolução de uma determinada problemática, variando no tipo de critérios que utiliza e na necessidade ou ausência de pesos para a obtenção de resultados.

Tabela 5.1- Variantes do método ELECTRE

Método	Tipo de problema	Tipo de critério	Utilização de pesos	Autores - ano
ELECTRE I	Escolha	Critério verdadeiro	Sim	Roy - 1968
ELECTRE II	Ordenação	Critério verdadeiro	Sim	Roy e Bertier - 1971
ELECTRE III	Ordenação	Pseudo-critério	Sim	Roy - 1978
ELECTRE IV	Ordenação	Pseudo-critério	Não	Roy e Hugonnard - 1981
ELECTRE IS	Escolha	Pseudo-critério	Sim	Roy e Skalka - 1985
ELECTRE TRI	Classificação	Pseudo-critério	Sim	Yu Wei - 1992

Em termos gerais, o método ELECTRE compreende dois principais procedimentos: a construção de uma ou várias relações de prevalência, seguida de procedimentos de exploração. A primeira fase de construção das relações de prevalência tem como objetivo a comparação de cada par de alternativas de um modo compreensivo. Os procedimentos de exploração são usados para elaborar recomendações a partir dos resultados obtidos na primeira fase, sendo que a natureza das recomendações depende da problemática (escolha, ordenação ou classificação). Assim, cada método é caracterizado pela sua construção e pelos seus procedimentos de exploração (Figueira *et al.*, 2005).

As alternativas de um problema de decisão serão analisadas e avaliadas segundo níveis de uma escala de desempenho, de acordo com o ponto de vista e preferência do decisor em relação a cada critério considerado importante. A cada critério está associado um sentido de preferência que pode ser crescente, caso o critério seja de maximizar, ou decrescente, caso o critério seja de minimizar.

Na utilização dos métodos ELECTRE torna-se necessários definir dois conjuntos de parâmetros relativos aos critérios: os coeficientes de importância (pesos intrínsecos) e os limiares de veto. Para um determinado critério, o peso reflete o seu poder de voto em quanto contribui para majorar uma relação de prevalência. Os pesos não dependem do intervalo nem da codificação das escalas e não devem ser interpretados como taxas de substituição, tal como acontece em procedimentos de agregação compensatória. Quanto ao limiar de veto, expressa o poder atribuído a um

determinado critério para ser contra a prevalência de uma alternativa em relação a outra, quando a diferença entre as suas avaliações é superior a esse limiar.

Para ter em consideração o carácter de imperfeição da avaliação das alternativas, alguns métodos da família ELECTRE requerem limiares de discriminação (de indiferença e de preferência). Esses métodos utilizam um modelo de pseudo-critérios. Os limiares de discriminação representam a natureza imperfeita das avaliações, e são usados para situações de modelação em que a diferença entre as avaliações associadas a duas diferentes alternativas num determinado critério pode:

- Justificar a preferência de uma das duas alternativas (limiares de preferência);
- Ser compatível com a indiferença entre as duas alternativas (limiares de indiferença);
- Ser interpretada como uma hesitação entre optar por uma preferência ou uma indiferença entre as duas alternativas.

Os limiares de discriminação podem ser constantes ou variar ao longo da escala. Quando são variáveis, dever-se-á distinguir entre direto (a avaliação da melhor alternativa é levada em consideração) e inversa (quando são definidos a partir da pior avaliação). Não existem verdadeiros valores para os limiares. Portanto, os valores a escolher para atribuir aos limiares deverão ser os mais convenientes, ou melhor adaptados, para expressar o carácter imperfeito do conhecimento.

Existem várias razões para considerar o método ELECTRE adequado para a ordenação de conjuntos de indicadores de desempenho da manutenção. Algumas dessas razões são apontadas por Gonçalves *et al.* (2014b). O método tem sido aplicado com sucesso em vários problemas de ordenação, alguns dos quais mencionados nos números seguintes deste Capítulo. O método é simples de aplicar e alguns autores, tais como Yazdani-Chamzini *et al.* (2013) e Gonçalves *et al.* (2014b), consideram que a lógica ELECTRE é racional e o processo de cálculo é sistemático e bem organizado. Além disso, o ELECTRE é o método MCDA mais utilizado para a ordenação de alternativas (Zandi and Roghanian, 2013).

Em Gonçalves *et al.* (2014b) são apontadas algumas vantagens do método ELECTRE quando comparado com as limitações de outros métodos, nomeadamente do *Analytic Hierarchy Process* (AHP). Os métodos da família ELECTRE podem lidar com escalas heterogéneas, ou seja, escalas diferentes para cada critério. Qualquer que seja a natureza da escala, o procedimento pode ser executado com o desempenho original das alternativas sobre os critérios (Figueira *et al.* 2013). Yazdani-Chamzini *et al.* (2013) observam que, devido ao facto de não ser imposta uma escala de avaliação, as alternativas mantêm o seu significado verbal original. Além disso, o tomador de decisão não faz qualquer comparação par a par, uma vez que todas as comparações são realizadas pelo próprio procedimento (Figueira *et al.* 2013). O método ELECTRE não permite a compensação de desempenhos entre os critérios, isto é, a degradação dos desempenhos em determinados critérios não pode ser compensada por melhorias de desempenhos noutros critérios (Figueira *et al.* 2013). Por outro lado, os métodos da família ELECTRE podem lidar com um

grande número de alternativas. Hatami-Marbini e Tavana (2011) mencionam que o ELECTRE é o método preferido para os problemas com um grande conjunto de alternativas e alguns critérios.

Os métodos ELECTRE I e ELECTRE III são adequados para o processo de seleção de indicadores, considerando grande quantidade de alternativas.

5.2.1.1. ELECTRE I

O método ELECTRE I possibilita a resolução de problemas de seleção do tipo escolha (*choice type*), ou seja, da escolha da melhor ou das melhores alternativas. Este método auxilia na decisão por intermédio da escolha de um subconjunto de alternativas que seja restrito o máximo possível e que contenha as melhores alternativas.

Este método é utilizado para reduzir o tamanho de um determinado conjunto de soluções eficientes (alternativas). Funciona por bipartição, dividindo o conjunto inicial de alternativas em dois conjuntos: o das alternativas mais favoráveis (as melhores) para o decisor; e o das alternativas menos favoráveis (as piores). Para isso, o método ELECTRE, utiliza o conceito de “relações de prevalência” (*outranking relations*).

As relações de prevalência são estabelecidas a partir de índices de concordância e discordância, mediante a comparação entre pares de alternativas, previamente avaliadas em relação a um conjunto de critérios. A cada critério de avaliação é atribuída uma importância relativa, a qual é normalmente referida como peso do critério.

Uma vez obtidos os índices de concordância e discordância, o tomador de decisão pode estabelecer limiares de concordância e discordância de acordo com as suas preferências. Isto possibilita ao decisor, através da variação dos limiares de concordância e discordância, obter a alternativa ou o conjunto de alternativas que melhor correspondem às suas preferências (melhor ou melhores alternativas). Por outro lado, poder-se-ão determinar níveis médios de concordância e de discordância, caso o decisor não se sinta capaz de atribuir limiares para a concordância e discordância do problema em concreto.

Uma análise complementar aos resultados do método original ELECTRE I, foi a introdução do cálculo dos valores de concordância e de discordância líquidos (*net concordance and net discordance values*), apresentados em Delf e Nijkamp, (1976). Estes procedimentos baseiam-se no cálculo de valores, que medem, respetivamente, o grau de dominância e de fraqueza que cada alternativa tem, em relação a todas as outras alternativas concorrentes. Conhecidos esses valores, poder-se-á realizar a ordenação de alternativas a partir da melhor para o pior.

Existe vasta literatura com abordagens utilizando o método ELECTRE. Algumas abordagens que lidam com o método original ELECTRE I mereceram uma maior atenção nesta investigação. Por exemplo, foram encontrados trabalhos propondo metodologias de tomada de decisão na seleção de fornecedores (Sevкли, 2010; Hatami-Marbini e Tavana, 2011), na avaliação de sustentabilidade nos transportes (Bojkovic, Anic e Pejcie-Tarle, 2010), na investigação bioinformática para

determinar se um gene humano mutante pode causar cancro no corpo humano ou não (Ermatita, Hartari, Wardoyo e Harjoko, 2011), na avaliação de impacto ambiental (Kaya e Kahraman, 2011), na avaliação de riscos na construção de túneis (Yazdani-Chamzini, Yakhchali e Mahmoodian, 2013) e na gestão turística para analisar a competitividade relativa de um destino turístico (Botti e Peypoch, 2013). Numa outra abordagem, o método original ELECTRE I e a análise complementar, através dos valores líquidos de concordância e discordância, foram utilizados para a seleção de materiais adequados para células de combustível (Shanian e Savadago, 2006).

Gonçalves *et al.* (2014b) apresentam uma nova abordagem na seleção de indicadores relevantes de desempenho da manutenção, utilizando uma metodologia de decisão multicritério baseada no método original ELECTRE I. A metodologia proposta pelos autores recorre também à análise complementar, através dos valores líquidos de concordância e discordância, para a ordenação de alternativas. No contexto da manutenção, foi também encontrada uma contribuição com um modelo difuso (*fuzzy*), baseado no método original ELECTRE I, para resolver problemas de seleção de estratégias de manutenção (Vahdani e Hadipour, 2011).

Este método tem, todavia, algumas limitações. Figueira *et al.* (2005) referem que o método ELECTRE I não tem um interesse prático significativo, tendo geralmente consequências perante a resolução de problemas com conjuntos de critérios contraditórios e muito heterogêneos. Além disso, o método permite estabelecer limiares de concordância e discordância, mas não permite lidar com limiares de discriminação. Contudo, nos problemas de decisão existe sempre um certo grau de imprecisão, incerteza ou má determinação, com os quais o tomador de decisão tem de lidar.

O método é muito simples e deve ser aplicado apenas quando todos os critérios utilizam escalas numéricas com intervalos idênticos. Perante tal situação, o método permite afirmar que uma alternativa prevalece a outra, necessitando apenas de estabelecer valores através de duas condições (concordância e discordância). É a soma dos pesos associados aos critérios que contribuem para a determinação das relações de prevalência.

5.2.1.1.1. Procedimentos do método ELECTRE I

A versão original do método ELECTRE I é apresentada em Yoon e Hwang (1995), Shanian e Savadago (2006), Sevcli (2010), Ermatita *et al.* (2011), Pang *et al.* (2011), Gonçalves *et al.* (2014a) e consiste nos seguintes passos sucessivos:

Passo 1: Suponhamos um problema MCDA com um conjunto finito de m alternativas possíveis $A = (a_1, a_2, \dots, a_i, \dots, a_m)$, a serem avaliadas por um conjunto coerente de n critérios de decisão $F = (g_1, g_2, \dots, g_j, \dots, g_n)$. Cada alternativa é avaliada de acordo com os n critérios não dependentes entre si. Os valores atribuídos a cada alternativa a_i em relação a cada um dos critérios g_j são definidos como x_{ij} e formam uma matriz de desempenho $X = (x_{ij})_{m \times n}$, da seguinte forma:

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (5.1)$$

Sendo w_j o coeficiente (ou peso) de importância relativa atribuído ao critério g_j , o vetor de pesos relativos ao conjunto de critérios será $W = (w_1, w_2, \dots, w_j, \dots, w_n)$, que deve satisfazer a condição $\sum_{j=1}^n w_j = 1$. Os pesos dos critérios deverão ser determinados de acordo com informação da preferência do tomador de decisão.

A avaliação de desempenho em X e o valor dos pesos em W representam os valores fundamentais correspondentes à preferência absoluta dos decisores (Ermattita *et al.*, 2011).

Passo 2: Normalização da matriz de desempenho X . Na matriz de desempenho, todos os elementos têm de ser normalizados para uma escala comparável, para que a sua comparação se torne relevante. A matriz normalizada $R = (r_{ij})_{m \times n}$ representa os valores normalizados da avaliação das alternativas, de acordo com os critérios definidos com interesse para a decisão das melhores alternativas. A normalização é calculada por r_{ij} , variando a formulação consoante o objetivo do critério em causa.

Para o objetivo de minimização:

$$r_{ij} = \frac{1/x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m 1/x_{ij}^2}} \quad \text{onde } i = 1, 2, \dots, m \text{ e } j = 1, 2, \dots, n \quad (5.2)$$

Para o objetivo de maximização:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}} \quad \text{onde } i = 1, 2, \dots, m \text{ e } j = 1, 2, \dots, n \quad (5.3)$$

Aplicando as fórmulas (5.2) e (5.3), dependendo do objetivo para cada critério, a matriz de desempenho normalizada é obtida como:

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix} \quad (5.4)$$

Passo 3: A matriz de desempenho normalizada ponderada $V = (v_{ij})_{m \times n}$ é obtida multiplicando as colunas da matriz de decisão normalizada R pelos pesos w_j associados aos critérios g_j , tal como a fórmula seguinte prevê:

$$v_{ij} = r_{ij} \cdot w_j \quad \text{onde } i=1,2,\dots,m \text{ e } j=1,2,\dots,n \quad (5.5)$$

O valor normalizado de v_{ij} encontra-se no intervalo de números entre 0 e 1. A matriz de desempenho normalizada ponderada V é definida como se segue:

$$V = R \cdot W = \begin{bmatrix} r_{11} \cdot w_1 & r_{12} \cdot w_2 & \dots & r_{1n} \cdot w_n \\ r_{21} \cdot w_1 & r_{22} \cdot w_2 & \dots & r_{2n} \cdot w_n \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{m1} \cdot w_1 & r_{m2} \cdot w_2 & \dots & r_{mn} \cdot w_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_{11} & v_{12} & \dots & v_{1n} \\ v_{21} & v_{22} & \dots & v_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ v_{m1} & v_{m2} & \dots & v_{mn} \end{bmatrix} \quad (5.6)$$

Passo 4: Determinar os conjuntos de concordância e de discordância. É realizada a comparação entre pares de alternativas para todos os critérios. Para cada par de alternativas a_p e a_q ($p, q = 1, 2, \dots, m$ e $p \neq q$), o conjunto de critérios é dividido em dois subconjuntos distintos: conjunto de concordância $C(p, q)$ e conjunto de discordância $D(p, q)$. O conjunto de concordância é composto por todos os critérios, para os quais a alternativa a_p é preferível relativamente à alternativa a_q . O conjunto de concordância é aplicado para descrever as relações de dominância entre as alternativas e são determinados como se segue:

$$C(p, q) = \{j | v_{pj} \geq v_{qj}\} \quad \text{onde } j = 1, 2, \dots, n \quad (5.7)$$

Por outras palavras, Yoon e Hwang (1995) referem que, $C(p, q)$ é o conjunto de critérios onde a_p é melhor ou igual a a_q .

O complementar de $C(p, q)$, chamado o conjunto de discordância, contém todos os critérios para os quais a_p é pior que a_q e é determinados por:

$$D(p, q) = \{j | v_{pj} < v_{qj}\} \quad \text{onde } j = 1, 2, \dots, n \quad (5.8)$$

Ou pode ser simplesmente determinada por:

$$D(p, q) = J - C(p, q) \quad \text{onde } J = \{j | j = 1, 2, \dots, n\} \quad (5.9)$$

Então:

$$D(p, q) = \{j | v_{pj} < v_{qj}\} = J - C(p, q) \quad \text{onde } j = 1, 2, \dots, n \text{ e } J = \{j | j = 1, 2, \dots, n\} \quad (5.10)$$

Passo 5: Calcular os índices de concordância e discordância. O índice de concordância c_{pq} do conjunto $C(p, q)$ expressa em que medida a alternativa a_p supera (prevalece) a alternativa a_q no contexto da concordância, de acordo com as preferências do decisor e é obtido através da fórmula:

$$c_{pq} = \sum_{j \in C(p, q)} w_j \quad \text{onde } j = 1, 2, \dots, n \quad (5.11)$$

Cada índice de concordância é, portanto, determinado pela soma dos pesos de todos os critérios contidos no respetivo conjunto de concordância. Yoon e Hwang (1995) referem que o índice de concordância c_{pq} representa o grau de confiança em julgamentos de pares ($a_p \rightarrow a_q$). Os índices de concordância são os elementos da matriz de índices de concordância $C=(c_{pq})_{m \times m}$, a qual é formulada como se segue:

$$C = \begin{bmatrix} - & c_{12} & \dots & c_{1m} \\ c_{21} & - & \dots & c_{2m} \\ \dots & \dots & - & \dots \\ c_{m1} & c_{m2} & \dots & - \end{bmatrix} \quad (5.12)$$

Por sua vez, o índice de discordância d_{pq} do conjunto $D(p,q)$, expressa em que medida as preferências do decisor se opõem à asserção de que a alternativa a_p prevalece à alternativa a_q . Yoon e Hwang (1995), referem que o índice de discordância do conjunto $D(p,q)$, representa o grau de discordância em julgamentos de pares ($a_p \rightarrow a_q$). Pang *et al.* (2011) comentam que o índice de discordância pode ser visto como a preferência de descontentamento (insatisfação) na decisão da alternativa a_p ao invés da alternativa a_q . O índice de discordância é obtido usando a fórmula:

$$d_{pq} = \frac{\max_{j \in D(p,q)} |v_{pj} - v_{qj}|}{\max_{j \in J} |v_{pj} - v_{qj}|} \quad \text{onde } j = 1,2,\dots,n \text{ e } J = \{j | j = 1,2,\dots,n\} \quad (5.13)$$

Os índices de discordância determinados serão os elementos da matriz de índices de discordância $D=(d_{pq})_{m \times m}$, que é formulada como se segue:

$$D = \begin{bmatrix} - & d_{12} & \dots & d_{1m} \\ d_{21} & - & \dots & d_{2m} \\ \dots & \dots & - & \dots \\ d_{m1} & d_{m2} & \dots & - \end{bmatrix} \quad (5.14)$$

Passo 6: Determinar a matriz domínio de concordância. Os elementos da matriz de concordância são avaliados pelo nível de concordância. Este valor é definido como a média dos elementos da matriz de concordância e é representado por:

$$\bar{C} = \frac{\sum_{p=1}^m \sum_{q=1}^m c_{pq}}{m(m-1)} \quad (5.15)$$

O valor \bar{C} é o nível (limiar) mínimo de concordância. O decisor pode contudo, estabelecer um diferente limiar de concordância de acordo com a sua preferência. Cada elemento da matriz de concordância é comparado com o valor crítico \bar{C} e é formada uma matriz Booleana \bar{E} (matriz domínio de concordância) de acordo com as condições seguintes:

$$\begin{cases} e_{pq} = 1 & \text{se } c_{pq} \geq \bar{C} \\ e_{pq} = 0 & \text{se } c_{pq} < \bar{C} \end{cases} \quad (5.16)$$

$$\bar{E} = \begin{bmatrix} - & e_{12} & \dots & e_{1m} \\ e_{21} & - & \dots & e_{2m} \\ \dots & \dots & - & \dots \\ e_{m1} & e_{m2} & \dots & - \end{bmatrix} \quad (5.17)$$

Passo 7: Determinar a matriz domínio de discordância. Também os elementos da matriz de discordância, por sua vez, são avaliados por um nível de discordância. O nível máximo de discordância é definido como a média dos elementos da matriz de discordância, representado por:

$$\bar{D} = \frac{\sum_{p=1}^m \sum_{q=1}^m d_{pq}}{m(m-1)} \quad (5.18)$$

O decisor pode também estabelecer um valor \bar{D} diferente como limiar máximo de discordância de acordo com a sua preferência. Cada elemento da matriz de discordância é comparado com o valor crítico \bar{D} e é formada uma matriz Booleana \bar{F} (matriz domínio de discordância) de acordo com as condições seguintes:

$$\begin{cases} f_{pq} = 1 & \text{se } d_{pq} \leq \bar{D} \\ f_{pq} = 0 & \text{se } d_{pq} > \bar{D} \end{cases} \quad (5.19)$$

$$\bar{F} = \begin{bmatrix} - & f_{12} & \dots & f_{1m} \\ f_{21} & - & \dots & f_{2m} \\ \dots & \dots & - & \dots \\ f_{m1} & f_{m2} & \dots & - \end{bmatrix} \quad (5.20)$$

Relativamente a uma relação de prevalência, Yoon e Hwang (1995) e Sevkli (2010) referem que, a alternativa a_p prevalece a_q quando $c_{pq} \geq \bar{C}$ e $d_{pq} \leq \bar{D}$. Deste modo, obtém-se o “Kernel”, um subconjunto das melhores alternativas. Os elementos das matrizes \bar{E} e \bar{F} com o valor “1” mostram as relações de dominância entre as alternativas.

Passo 8: Determinar a matriz de domínio agregada. Uma matriz global \bar{Z} pode ser calculada pela multiplicação par a par dos elementos das matrizes \bar{E} e \bar{F} , cujo procedimento pode ser representado como se segue:

$$\bar{Z} = \bar{E} \otimes \bar{F} \quad (5.21)$$

Ou seja, cada elemento z_{pq} da matriz de domínio agregada Z é obtido como:

$$z_{pq} = e_{pq} \cdot f_{pq} \quad (5.22)$$

$$\bar{Z} = \begin{bmatrix} - & z_{12} & \dots & z_{1m} \\ z_{21} & - & \dots & z_{2m} \\ \dots & \dots & - & \dots \\ z_{m1} & z_{m2} & \dots & - \end{bmatrix} \quad (5.23)$$

Elementos da matriz \bar{Z} representados pela unidade, indicam relações de dominância entre as alternativas. Isto significa que, se $z_{pq} = 1$, então a_p é superior a a_q , tanto em termos do nível de concordância como do nível de discordância. Essa matriz (\bar{Z}) também é chamada como matriz de prevalência (*outranking matrix*).

A determinação da matriz de domínio agregada tem o propósito de estabelecer as relações de prevalência e identificar a melhor alternativa. A revisão da literatura sugere que, no âmbito do método original ELECTRE I, deve ser construído um gráfico de decisão para melhor compreensão dos resultados obtidos, ilustrando as relações de prevalência. Yoon e Hwang (1995) afirmam que o “*Kernel*” ou núcleo, pode ser encontrado através da representação de um gráfico relacional acíclico, isto é, um diagrama que combina um conjunto de alternativas preferenciais definidas pelo ELECTRE. O “*Kernel*” deve satisfazer as duas seguintes condições:

- Cada alternativa do “*Kernel*” não pode ser superada por nenhuma outra alternativa do “*Kernel*”;
- Todas as alternativas fora do “*Kernel*” são superadas pelo menos por uma alternativa do “*Kernel*”.

Figueira *et al.* (2005) referem que o procedimento consiste em explorar a relação de prevalência, a fim de identificar um subconjunto das alternativas, tão pequeno quanto possível, a partir do qual a melhor alternativa pode ser selecionada. A justificação do uso deste conceito pode ser encontrada, por exemplo em Yoon e Hwang (1995), Aytac *et al.* (2001), Bojkovic *et al.* (2010), Wu e Chen (2011) e Marbini e Tavana (2011), onde os autores ilustram estes gráficos de decisão para evidenciar qual a alternativa preferível, incomparável ou indiferente.

No entanto, este método pode não evidenciar com clareza a melhor alternativa, levando o decisor a encontrar ainda alguma dificuldade na sua escolha mediante um conjunto de alternativas preferenciais, contidas no “*Kernel*”. Yoon e Hwang (1995) referem que este método ELECTRE não indica uma preferência entre alternativas no “*Kernel*”. Por outro lado, Yoon e Hwang (1995) também notam que a fraqueza do ELECTRE pode residir na utilização dos seus valores limiares críticos \bar{C} e \bar{D} , que são bastante arbitrários e o seu impacto sobre o resultado final pode ser significativo. Os limiares críticos, atribuídos pela determinação do nível médio de concordância e de discordância, podem também não constituir os patamares justos e adequados para a tomada de decisão na escolha da melhor alternativa, pois não estabelecem informação de preferência do decisor. No próximo passo é formulada a relação de prevalência líquida (*net outranking*) para resolver estes problemas.

Passo 9: Calcular os valores de concordância e discordância líquidos. Os valores de concordância líquida e de discordância líquida foram introduzidos por Delft e Nijkamp (1976) para a análise complementar dos resultados do método original ELECTRE I. O valor de concordância líquida NC_p mede o grau de dominância que cada alternativa a_p tem competindo com as outras alternativas e pode ser calculada pela fórmula (5.24). O objetivo é avaliar a alternativa a_p para saber o quão forte em concordância é, relativamente às restantes alternativas (quanto maior, melhor). Assim,

$$NC_p = \sum_{q=1}^m c_{pq} - \sum_{q=1}^m c_{qp} \quad \text{onde } m \text{ é o número de alternativas} \quad (5.24)$$

Por sua vez, o valor de discordância líquida ND_p mede a relativa fraqueza da alternativa a_p em relação às outras alternativas. No entanto, é necessário um menor valor da discordância líquida para uma preferência maior (quanto menor, melhor). O valor discordância líquido pode ser calculado pela fórmula (5.25) como se segue:

$$ND_p = \sum_{q=1}^m d_{pq} - \sum_{q=1}^m d_{qp} \quad \text{onde } m \text{ é o número de alternativas} \quad (5.25)$$

Assim, a seleção final deve satisfazer a condição do valor líquido de concordância ser máximo e o valor líquido de discordância ser mínimo (Yoon e Hwang, 1995). A alternativa a escolher deve ter simultaneamente o “mais alto” valor líquido de concordância e o “mais baixo” valor líquido de discordância. Além disso, uma análise de concordância pode ser uma ferramenta útil numa análise complementar nos problemas de decisão (Delft e Nijkamp, 1976).

O uso do método ELECTRE I original, em conjunto com o cálculo dos valores de concordância e discordância líquidos, propostos em Delft e Nijkamp (1976), permitem não só a escolha da melhor alternativa, como também proporcionam a ordenação de um conjunto de alternativas, da melhor para a pior alternativa. Uma ordenação das alternativas pode ser conseguida com base nos resultados de concordância líquida, colocando as alternativas por ordem decrescente do valor de concordância líquida alcançado.

Em pesquisa, não foi encontrado *software* disponível no mercado que contemplasse este método e as extensões para análise complementar apresentadas. Os procedimentos matemáticos apresentados foram programados em "Excel VBA (*Visual Basic for Applications*)" para uma ordenação computacional, independentemente do número de alternativas e critérios. O objetivo principal é fornecer uma ferramenta prática e eficaz para o processo de decisão com a abordagem apresentada. O código desenvolvido em VBA pode ser consultado no Anexo IV.

5.2.1.2. ELECTRE III

O método ELECTRE III foi estabelecido para a resolução de problemas do tipo ordenação (*ranking type*), ou seja, tem a finalidade de ordenar alternativas da melhor para a pior. Este método foi concebido para melhorar o método ELECTRE II (Roy, 1978) e tem sido aplicado durante as três últimas décadas numa ampla variedade de problemas da vida real. A inovação do método é, fundamentalmente, a introdução de pseudo-critérios em vez de critérios verdadeiros. O método considera pseudo-critérios, utilizando limiares de indiferença e de preferência.

Nesta variante da família ELECTRE, Roy introduziu na metodologia o conceito difuso (*fuzzy*) para determinar a ordenação de alternativas, permitindo a criação de pseudo-critérios. A abordagem difusa do ELECTRE III permite a inclusão das imprecisões e incertezas do processo de decisão, através da definição dos limiares de preferência e indiferença. Figueira *et al.* (2005) referem que neste método a relação de prevalência pode ser interpretada como uma relação difusa. A construção e exploração dessa relação requerem a definição de um índice de credibilidade, o qual caracteriza a credibilidade da afirmação de que uma alternativa prevalece sobre outra alternativa.

A aplicação do método ELECTRE III divide-se em duas fases fundamentais. Numa primeira fase, o método ELECTRE III envolve-se na construção de relações de prevalência difusa. Para construir as relações de prevalência, comparam-se todos os pares de alternativas, considerando os seus desempenhos (avaliações) segundo vários critérios. O decisor tem ainda que ser capaz de expressar a importância relativa dos pseudo-critérios (pesos e limiares). Neste método, a ordenação das alternativas, da melhor para a pior, é também conseguida através da atribuição de pesos nos critérios. Porém requer a definição de limiares para uma melhor discriminação mediante os desempenhos ou avaliações das alternativas. Os três limiares a declarar no modelo de pseudo-critérios podem ser definidos do seguinte modo:

- **Limiar de indiferença** – corresponde à maior diferença de desempenho entre duas alternativas, compatível com uma situação de indiferença;
- **Limiar de preferência** – corresponde à menor diferença de desempenho entre duas alternativas, a partir da qual o tomador de decisão define a sua preferência estrita pela alternativa que apresenta o melhor desempenho;
- **Limiar de veto** – é a mais pequena diferença de desempenho entre duas alternativas, a partir da qual o tomador de decisão considera que não é possível suportar a ideia que a pior de duas alternativas em consideração perante um critério, possa ser compreensivelmente considerada tão boa como a melhor, ainda que o seu desempenho em todos os outros critérios seja melhor.

O método ELECTRE III começa por comparação pareada entre cada alternativa e as restantes alternativas com o objetivo de aceitação, rejeição, ou mais genericamente, avaliando a credibilidade da afirmação de que “a alternativa *a* é pelo menos tão boa quanto a alternativa *b*”, normalmente referido como “*a* prevalece *b*”. São calculados índices de concordância e de discordância, os quais permitem expressar índices de credibilidade para cada par de alternativas

que estabelecem as relações de prevalência difusa. Esses índices expressam a credibilidade das hipóteses de prevalência entre alternativas.

A segunda fase do método ELECTRE III visa obter uma pré-ordem parcial através da exploração das relações de prevalência difusa resultantes da primeira fase. Para tal, é usado um algoritmo que estabelece a interseção de duas pré-ordens completas, chamadas destilação ascendente e destilação descendente. A combinação das duas pré-ordens predispõe o resultado final, ou seja, uma pré-ordem parcial das alternativas.

A estrutura geral do método ELECTRE III é apresentada na Figura 5.2, onde é possível compreender as diferentes fases dos procedimentos do método.

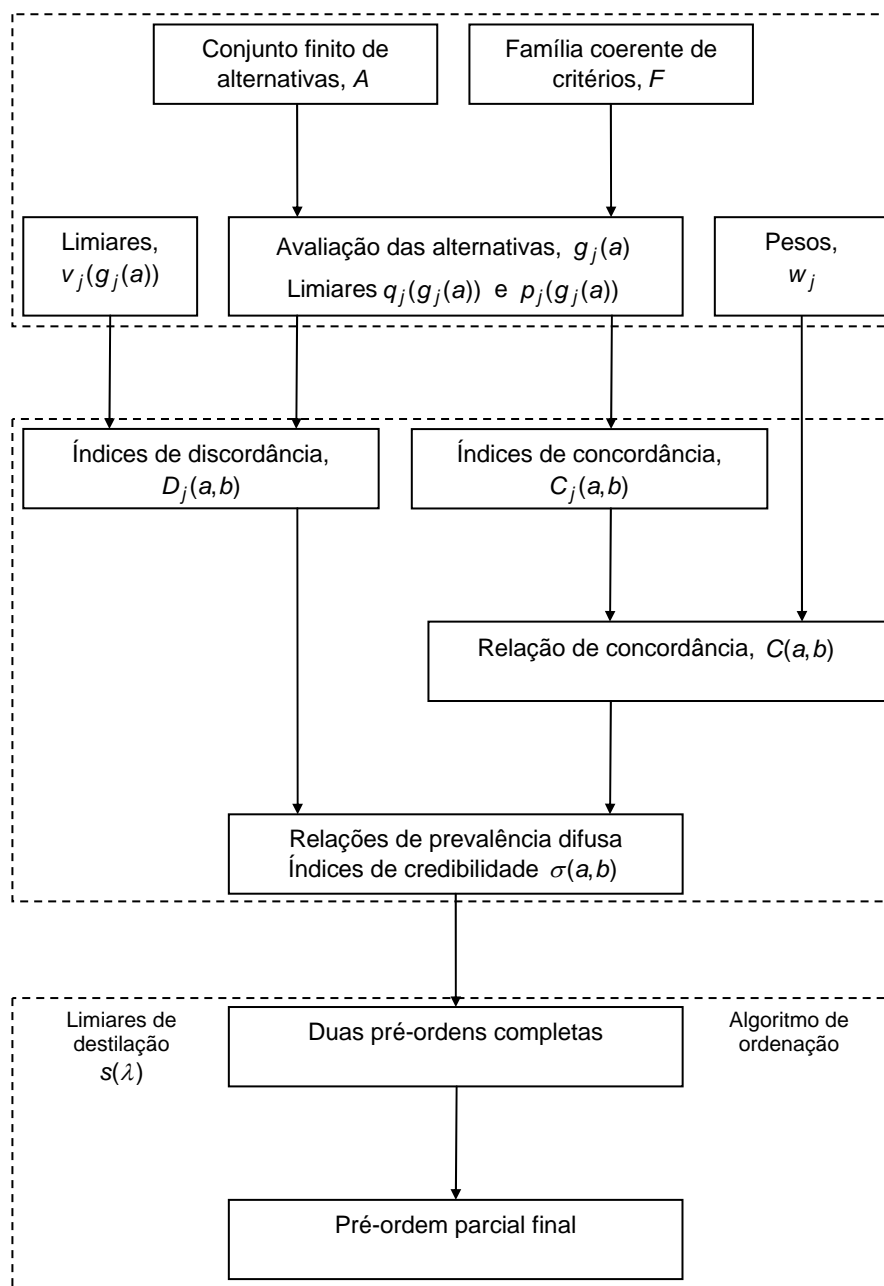


Figura 5.2 – Estrutura geral do método ELECTRE III
Adaptação de: Dias et al. (2006)

Também existem na literatura bastantes abordagens utilizando o método ELECTRE III. Uma das abordagens em torno do método ELECTRE III mereceu especial atenção nesta investigação. Augusto *et al.* (2005) propõem uma abordagem multicritério para a ordenação de setores económicos da economia portuguesa, segundo o seu desempenho. A aplicação do método ELECTRE III possibilitou a avaliação de desempenho de setores da economia portuguesa e permitiu, após ordenação, a identificação dos setores mais atrativos. Estes autores recorreram também ao *software* SRF para licitar os pesos dos critérios considerados.

Liu e Zhang (2011) utilizam o método ELECTRE III para a seleção de fornecedores numa cadeia de abastecimento. Contudo, estes autores propõem o cálculo do valor líquido de credibilidade de cada alternativa como forma de ordenar as alternativas, ao invés do algoritmo de ordenação proposto por Roy para este método. Liu e Zhang (2011) estabelecem assim, uma análise complementar aos resultados do método ELECTRE III, similar à apresentada por Delft e Nijkamp (1976) para o método original ELECTRE I.

Marzouk (2011) propõe e aplica o método ELECTRE III para a seleção de materiais de construção, equipamentos e sistemas para edifícios, relacionando as suas funções, características, qualidade e custos, para a determinação de soluções ótimas em projeto. O interesse é também selecionar os ativos que melhor evidenciam prestar o serviço requerido aos mais baixos custos ao longo do ciclo de vida das edificações, de acordo com os requisitos de desempenho, fiabilidade e manutibilidade.

A escolha do ELECTRE III justifica-se para incorporar a natureza difusa (imprecisa e incerta) na ordenação de alternativas, da melhor para a pior, utilizando os limiares de indiferença e preferência. Este método torna-se o mais apropriado para integrar diferentes variáveis linguísticas no desempenho das alternativas. O método ELECTRE III é ainda aplicável para selecionar a melhor entre um conjunto de alternativas.

O ELECTRE III é, contudo, um método complexo e exigente para o tomador de decisão, uma vez que requer a definição de muita informação sobre a sua preferência no processo de decisão. Para além da definição dos pesos dos critérios, o decisor é questionado quanto a limiares de indiferença, preferência e de veto, para que os resultados possam aproximar-se melhor de um ideal. Nem sempre o tomador de decisão se sente confiante para se expressar quanto a tão pormenorizada informação de preferência para a tomada de decisão.

Este método apresenta como maior obstáculo à sua utilização, a necessidade de fixar parâmetros com difícil significado aparente. Por esse motivo, o decisor pode também não sentir confiança nos resultados do método, nomeadamente se é desconhecedor da sua formulação matemática e das implicações, face aos valores escolhidos para os parâmetros do processo de decisão.

Ainda relativamente aos pseudo-critérios, a introdução de um limiar de indiferença e de um limiar de preferência estrita pode ser opcional, mas desse modo o método deixa, segundo Roy, de estabelecer as relações de prevalência de forma difusa.

Vários autores, incluindo Augusto *et al.* (2005), referem que o ELECTRE III é muitas vezes designado para lidar com problemas de decisão, cujos dados disponíveis possam provocar incerteza, imprecisão e/ou inexatidão.

5.2.1.2.1. Procedimentos do método ELECTRE III

Os procedimentos do método ELECTRE III são apresentados em Dias *et al.* (2006), Figueira *et al.* (2005) e Figueira *et al.* (2013) e consistem nos seguintes passos sucessivos:

Passo 1: Dado um conjunto finito de m alternativas $A = (a_1, a_2, \dots, a_i, \dots, a_m)$, a serem avaliadas por uma família coerente de n critérios de decisão $F = (g_1, g_2, \dots, g_j, \dots, g_n)$. Cada alternativa é avaliada de acordo com os n critérios não dependentes entre si. A avaliação (ou desempenho) de cada alternativa a_i em relação a cada um dos critérios g_j é definida como $g_j(a)$. Sendo w_j o coeficiente (ou peso) de importância relativa atribuído ao critério g_j , o vetor de pesos relativos ao conjunto de critérios será $W = (w_1, w_2, \dots, w_j, \dots, w_n)$, que deve satisfazer a condição $\sum_{j=1}^n w_j = 1$. Os pesos dos critérios deverão ser determinados de acordo com informação de preferência do tomador de decisão.

Passo 2: Definição dos limiares. O modelo de pseudo-critérios permite, com o uso de limiares, ter em atenção a indeterminação, imprecisão e a incerteza que podem ter afetado a avaliação de desempenho de cada alternativa. O tomador de decisão tem a tarefa de especificar os limiares de indiferença, de preferência e de veto para cada critério, com as seguintes atribuições:

q_j = limiar de indiferença para o critério g_j ;

p_j = limiar de preferência para o critério g_j ;

v_j = limiar de veto para o critério g_j .

Independentemente, da escala em que trabalha cada critério, o valor do limiar de indiferença deve ser inferior ao valor do limiar de preferência, e este, deve ser inferior ao limiar de veto, ou seja:

$$q_j \leq p_j \leq v_j.$$

Para a compreensão e auxílio na atribuição dos limiares de discriminação de cada critério, Roy, *et al.* (2014), expõem uma síntese teórica dos conceitos inerentes e apresentam alguns exemplos com instruções práticas para atribuir esses valores.

Passo 3: Índices de concordância parcial. Para o par de alternativas (a, b) , o índice de concordância $C_j(a, b)$, é um índice difuso que expressa a intensidade com que se pode afirmar que a alternativa a prevalece à alternativa b (intensidade com que a é pelo menos tão boa quanto b)

para o critério g_j . O valor de $C_j(a,b)$ calcula-se em função das avaliações $g_j(a)$ e $g_j(b)$, assumindo os limiares p_j (preferência) e q_j (indiferença), a partir da seguinte expressão (5.26):

$$C_j(a,b) = \begin{cases} 1 & \text{se } g_j(a) + q_j[g_j(a)] \geq g_j(b) \\ \frac{p_j(g_j(a)) - (g_j(b) - g_j(a))}{p_j(g_j(a)) - q_j(g_j(a))} & \text{se } g_j(a) + q_j[g_j(a)] < g_j(b) < g_j(a) + p_j[g_j(a)] \\ 0 & \text{se } g_j(a) + p_j[g_j(a)] \leq g_j(b) \end{cases}$$

O valor de $C_j(a,b)$ dependerá, portanto, dos valores dos limiares de indiferença e de preferência. O índice $C_j(a,b) = 1$, quando o valor de $g_j(b)$ está abaixo de $g_j(a)$ mais o valor do limiar de indiferença. E $C_j(a,b) = 0$, quando o valor de $g_j(b)$ está acima de $g_j(a)$ mais o valor do limiar de preferência. Para as situações intermédias, $C_j(a,b)$ terá valores entre 0 e 1. Contudo, com este método, poder-se-á trabalhar com uma situação denominada “quase critério”, quando os limiares assumem o mesmo valor: $q_j(g_j(a)) = p_j(g_j(a))$.

Passo 4: Índices de concordância global. O índice de concordância global $C(a,b)$ expressa em que medida os desempenhos em todos os critérios estão em concordância com a afirmação “a prevalece b”. O valor de $C(a,b)$ é a soma dos índices de concordância parcial $C_j(a,b)$, ponderados para cada critério, através do peso de cada critério w_j . Calculado pela expressão:

$$C(a,b) = \frac{\sum_{j=1}^n (w_j \cdot C_j(a,b))}{\sum_{j=1}^n w_j} \quad (5.27)$$

Passo 5: Índices de discordância. O índice de discordância $D_j(a,b)$ do critério g_j expressa em que medida esse critério é mais ou menos discordante com a afirmação “a prevalece b”. O índice de discordância obtém o seu valor máximo quando o critério g_j assume o seu veto à relação de prevalência, e o seu valor é mínimo quando o critério g_j não é discordante com a relação. O Índice de discordância $D_j(a,b)$ calcula-se a partir da seguinte expressão (5.28):

$$D_j(a,b) = \begin{cases} 1 & \text{se } g_j(a) + v_j[g_j(a)] \leq g_j(b) \\ \frac{p_j(g_j(a)) - (g_j(b) - g_j(a))}{p_j(g_j(a)) - q_j(g_j(a))} & \text{se } g_j(a) + q_j[g_j(a)] < g_j(b) < g_j(a) + p_j[g_j(a)] \\ 0 & \text{se } g_j(a) + p_j[g_j(a)] \leq g_j(b) \end{cases}$$

O valor de $D_j(a,b)$ dependerá, portanto, dos valores dos limiares de preferência e de veto. O índice $D_j(a,b) = 1$, quando o valor de $g_j(b)$ está acima de $g_j(a)$ mais o valor do veto. E $D_j(a,b) = 0$,

quando o valor de $g_j(b)$ está abaixo do valor de $g_j(a)$ mais o valor do limiar de preferência. Para as situações intermédias, $D_j(a,b)$ terá valores entre 0 e 1.

O termo limiar de veto deve-se portanto ao facto de um critério poder vetar a hipótese de prevalência quando a diferença de desempenho entre duas alternativas ultrapassar esse limiar.

Passo 6: Índices de credibilidade. A relação de prevalência difusa, definida para cada par de alternativas (a,b) como índice de credibilidade $\sigma(a,b)$, expressa compreensivamente em que medida “ a prevalece b ” utilizando o índice de concordância e o índice de discordância para cada critério g_j . O índice de credibilidade utiliza o índice de discordância $D_j(a,b)$ para enfraquecer o índice de concordância $C(a,b)$. Na ausência de critérios discordantes $\sigma(a,b) = C(a,b)$. Este índice de credibilidade é reduzido na presença de um ou mais critérios discordantes, quando $D_j(a,b) > C(a,b)$. Ou seja, só é considerada a discordância de cada critério quando esta é superior à concordância multicritério. Seja $\bar{F}(a,b) = \{j \in F / D_j(a,b) > C(a,b)\}$, então:

$$\sigma(a,b) = \begin{cases} C(a,b) & \text{se } \bar{F}(a,b) = 0 \\ C(a,b) \times \prod_{j \in \bar{F}(a,b)} \frac{1 - D_j(a,b)}{1 - C(a,b)} & \text{se } \bar{F}(a,b) \neq 0 \end{cases} \quad (5.29)$$

A expressão (4) determina o valor de $\sigma(a,b)$ dentro do intervalo $[0;1]$, de forma a excluir a possibilidade que grandes perdas num determinado critério possam ser compensadas por vários pequenos ganhos nos restantes critérios. Note-se que a credibilidade é nula, sempre que a condição de veto se verifique para pelo menos um critério. Os índices de credibilidade definem as relações de prevalência difusa que a primeira fase do método pretende obter.

Passo 7: Algoritmo de ordenação por destilação. Na fase de exploração das relações difusas de prevalência é utilizado um algoritmo de ordenação, baseado no índice de credibilidade de cada alternativa para obter duas pré-ordens completas, chamadas destilação ascendente e destilação descendente, que serão combinadas posteriormente numa pré-ordem parcial final. Este algoritmo requer uma informação adicional relacionada com a destilação, denominada função limiar de destilação, ou também referenciada como limite de discriminação:

$$s(\lambda_k) = \alpha \times \lambda_k + \beta \quad (5.30)$$

Onde, o nível de corte $\lambda_k \in [0,1]$, e os coeficientes de destilação α e β são especificados pelo decisor. Contudo, Dias *et al.* (2006) recomendam o uso de $\alpha = -0,15$ e $\beta = 0,3$.

Esta função é utilizada para realizar cortes sucessivos nas relações difusas de prevalência de modo a obterem-se relações de prevalência discriminatórias. Note-se que, em cada destilação, a relação de prevalência difusa é transformada em relações de prevalência não difusa, através de níveis de corte escolhidos.

As duas preordenações são construídas de maneiras diferentes. Para se obter a primeira pré-ordem, aplica-se um procedimento denominado destilação descendente, que começa por selecionar as melhores alternativas e termina com as piores. A segunda pré-ordem é obtida através do procedimento de destilação ascendente, a qual começa com as alternativas pior classificadas, e termina com a atribuição das melhores. Cada destilação distingue as alternativas por uma qualificação que pressupõe a sua preferência pelo decisor. Para estabelecer estas pré-ordens, são apresentados os procedimentos do algoritmo de ordenação nos pontos que se seguem:

- Cada processo de destilação D_k inicia com o estabelecimento de níveis de corte λ_k , para $k=0$, sendo $D_0 = A$, tal como as expressões abaixo preveem:

$$\lambda_k = \max_{\substack{a,b \in D_k \\ a \neq b}} \sigma(a,b) \quad (5.31)$$

$$\lambda_0 = \max_{\substack{a,b \in D_0 \\ a \neq b}} \sigma(a,b) \quad (5.32)$$

Calcula-se um limiar de discriminação:

$$s(\lambda_k) = -0,15 \times \lambda_k + 0,3 \quad (5.33)$$

O nível de corte será estabelecido por λ_{k+1} . Entre todas as relações de prevalência difusa para as quais a credibilidade $\sigma(a,b)$ é menor do que $\lambda_k - s(\lambda_k)$, é escolhida aquela que tem o valor máximo, de acordo com a expressão:

$$\lambda_{k+1} = \max_{\substack{\{\sigma(a,b) < \lambda_k - s(\lambda_k)\} \\ a,b \in D_k}} \sigma(a,b) \quad (5.34)$$

Sempre que, $\forall a, b \in D_k, \sigma(a,b) > \lambda_k - s(\lambda_k) \Rightarrow \lambda_{k+1} = 0$.

- A partir da matriz dos índices de credibilidade $\sigma(a,b)$ constrói-se uma sucessão de relações de prevalência discriminatórias $S_A^{\lambda_{k+1}}$, satisfazendo as seguintes condições:

$$aS_A^{\lambda_{k+1}}b = \begin{cases} \sigma(a,b) > \lambda_{k+1} \\ \sigma(a,b) > \sigma(b,a) + s(\sigma(a,b)) \end{cases} \quad (5.35)$$

Isto significa que a afirmação “ a prevalece b ” será tida em consideração caso seja mais significativa do que a afirmação inversa de que “ b prevalece a ”.

- A partir da matriz das relações de prevalência discriminatórias, seguem-se os cálculos para obter a qualificação de todas as alternativas:
 1. λ_k _força de a , $p_{D_k}^{\lambda_{k+1}}(a)$: é o número de alternativas que são prevalecidas por a e expressa quanto uma alternativa a prevalece todas as outras.

$$p_{D_k}^{\lambda_{k+1}}(a) = \left| \{b \in D_k / a S_{D_k}^{\lambda_{k+1}} b\} \right| \quad (5.36)$$

2. λ_k _fraqueza de a , $f_{D_k}^{\lambda_{k+1}}(a)$: é o número de alternativas que prevalecem a e expressa quanto uma alternativa a é prevalecida por todas as outras.

$$f_{D_k}^{\lambda_{k+1}}(a) = \left| \{b \in D_k / b S_{D_k}^{\lambda_{k+1}} a\} \right| \quad (5.37)$$

3. λ_k _qualificação de a relativamente ao conjunto D_k , $q_{D_k}^{\lambda_{k+1}}(a)$: expressa a posição relativa da alternativa a .

$$q_{D_k}^{\lambda_{k+1}}(a) = p_{D_k}^{\lambda_{k+1}}(a) - f_{D_k}^{\lambda_{k+1}}(a) \quad (5.38)$$

- As duas destilações ordenam as alternativas do conjunto A com base nas respetivas qualificações calculadas. A destilação descendente \bar{D}_{k+1} seleciona a alternativa ou as alternativas com maior qualificação, de modo a ordenar as alternativas por ordem decrescente. A destilação ascendente \underline{D}_{k+1} processa-se de modo contrário, pois seleciona a alternativa ou as alternativas com menor qualificação, de modo a ordenar as alternativas por ordem crescente. Estes processos de destilação podem ser representados pelas seguintes expressões:

$$\bar{D}_{k+1} = \{a \in D_k / q_{D_k}^{\lambda_{k+1}}(a) = \bar{q}_{D_k}\} \quad (5.39)$$

$$\underline{D}_{k+1} = \{a \in D_k / q_{D_k}^{\lambda_{k+1}}(a) = \underline{q}_{D_k}\} \quad (5.40)$$

Ambas as destilações tentam minorar o número de alternativas para cada posição (classificação) na respetiva ordem, ou seja, são realizadas iterações sucessivas de destilação, com níveis de corte cada vez menores, até que cada D_k tenha apenas uma alternativa. Repetem-se os procedimentos do algoritmo de ordenação por destilação do conjunto de alternativas D_k remanescentes, sucessivamente, até se chegar à alternativa com pior desempenho.

Note-se que, durante o processo de destilação, na passagem de k para $k+1$, o nível de corte λ_k é substituído por $\lambda_{k+1} < \lambda_k$ de acordo com a expressão (5.34), sendo que, D_k passa a ser o conjunto das restantes alternativas ainda por ordenar.

Passo 8: Ordenação das alternativas. No final das destilações descendentes e ascendentes, o resultado são duas pré-ordens completas. Em cada uma delas, as alternativas são reagrupadas num conjunto de classes equivalentes ordenadas. Cada classe contém pelo menos uma alternativa. A pré-ordem de interseção fornece a comparação entre alternativas e identifica as possíveis incomparabilidades:

- Uma alternativa a será considerada melhor que b se, em pelo menos uma das destilações, a é melhor que b , e na outra destilação, a é pelo menos tão bem classificada como b ;
- Uma alternativa a será julgada indiferente a b se as duas alternativas pertencerem à mesma classe nas duas pré-ordens;
- As alternativas a e b são incomparáveis se a é melhor classificada que b na destilação ascendente e b é melhor classificada que a na destilação descendente, ou *vice-versa*.

Para uma melhor elucidação sobre os procedimentos metodológicos e formulação matemática do método ELECTRE III, aconselha-se a consulta de Dias *et al.* (2006), sendo que esta referência é também um manual para um *software* com a implementação dos métodos ELECTRE III-IV, o qual pode ser solicitado gratuitamente na internet (<http://www.lamsade.dauphine.fr/>), para fins académicos.

5.2.2. Analytic Hierarchy Process (AHP)

A origem do *Analytic Hierarchy Process* (AHP) remonta a 1971, teve grandes enriquecimentos teóricos até ao final dos anos 70 e foi proposto pela primeira vez por Thomas Saaty em 1980.

O método AHP é um método muito aplicado na resolução de problemas de MCDA. O processo de análise hierárquico (AHP), segundo Saaty (1990), reflete o que parece ser o modo natural de funcionamento da mente humana, num processo de decisão. O método permite confrontar um grande número de elementos em situações complexas, agrupando-os segundo as suas propriedades comuns e segundo níveis, com base num raciocínio hierárquico de um sistema ou de um problema de decisão. No processo podem ser identificados diversos níveis hierárquicos com diferentes ou idênticos elementos agrupados a serem avaliados. O objetivo do processo será atingido mediante a comparação de um conjunto finito de alternativas em função de um conjunto finito de critérios.

Na Figura 5.3 encontra-se esquematizado um exemplo, de fácil compreensão, de uma árvore hierárquica possível para a resolução de um problema de decisão aplicando o método AHP. O suposto problema de decisão contempla três níveis de hierarquia (objetivo, critérios e alternativas). No topo da hierarquia é indicado o objetivo para o qual são direcionadas as contribuições do método. No nível imediatamente inferior são alinhados os critérios (quantitativos ou qualitativos), segundo os quais as alternativas serão selecionadas. No último nível, são conjugadas as alternativas para a solução do problema.

No essencial, o método AHP é uma avaliação por comparações par a par de alternativas e critérios, as quais oferecem um resultado mais preciso que uma avaliação, através da tradicional soma ponderada.

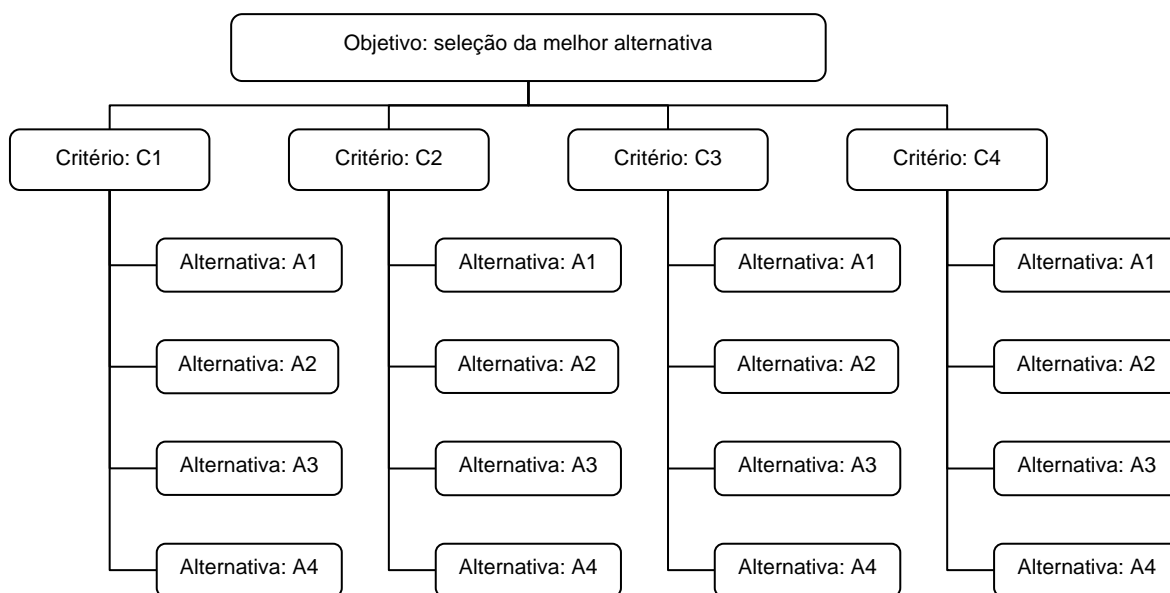


Figura 5.3 – Exemplo de árvore de hierarquias no método AHP

O AHP é mencionado por muitos autores, como um método útil e muito difundido para resolver distintos problemas de escolha (*choice*) e ordenação (*ranking*). Em breves resumos podem ser citados alguns estudos que mereceram atenção na pesquisa. No contexto dos recursos humanos, Saaty *et al.* (2007) mostram como aplicar o AHP em conjunto com a programação linear para determinar a melhor combinação de pessoas para contratar. Wang (2009) aplicou o AHP para selecionar fornecedores de serviços de manutenção e reparação de peças. Dalalah *et al.* (2010) utilizaram o AHP para auxiliar na decisão de seleção de gruas para a construção. Para a seleção de centros de maquinagem na indústria da produção, Ic *et al.* (2011) usaram o AHP, o qual avaliou os componentes dos equipamentos. Pang (2007) e Nazeri *et al.* (2011) propõem metodologias, combinando o AHP e teoria difusa, para avaliar e escolher parceiros numa cadeia de abastecimento e seleção de fornecedores, respetivamente.

No âmbito da manutenção surgem também contribuições do método AHP até à atualidade. Triantaphyllou *et al.* (1997) apresentam uma metodologia que utiliza o AHP para determinar os critérios mais importantes em decisões de manutenção. Estes autores aplicaram a metodologia num exemplo elucidativo, onde um conjunto de sistemas (alternativas) foram avaliados segundo critérios relacionados com a manutenção, o que permitiu realizar uma análise de sensibilidade que forneceu um melhor entendimento para a tomada de decisão. Bevilacqua e Braglia (2000) aplicaram o método AHP para selecionar a melhor estratégia de manutenção para as instalações de uma refinaria de petróleo ainda em construção. É proposto em Carnero (2005), um modelo usando o AHP para a seleção de técnicas de diagnóstico e de instrumentação em programas de manutenção preditiva. Para a seleção de estratégias de manutenção, Wang *et al.* (2007) aplicaram uma modificação difusa do método AHP. Também Durán (2011) propõe uma metodologia *fuzzy-AHP* para seleção de sistemas de gestão de manutenção assistida por computador (CMMS – *Computerized Maintenance Management Systems*).

O AHP tem sido amplamente utilizado na resolução de problemas de MCDA e também como método de determinação da importância relativa de diferentes critérios de escolha conflituosos. A importância relativa dos critérios é normalmente referida como peso dos critérios, e o método AHP é um dos métodos cuja aplicação calcula um vetor de pesos. Por tal facto, é também denominado como método de cálculo do vetor de prioridades (*eigenvector prioritization method*).

O método AHP pode ser aplicado para determinar os pesos dos critérios do processo de decisão, necessários nos procedimentos do método ELECTRE, que por sua vez, pode ser usado para destacar as melhores alternativas entre as consideradas pelo decisor. A importância relativa dos critérios relevantes é um conceito que é central aos métodos MCDA (Alfares e Duffuaa, 2009) e a maioria dos métodos da família ELECTRE utiliza parâmetros numéricos de peso para descrever a importância relativa dos diferentes critérios. Wind e Saaty (1980) indicam o AHP como método a ser usado para determinar a importância relativa de um conjunto de atividades ou critérios. Existem inúmeras técnicas de avaliação de peso disponíveis e Yoon e Hwang (1995) indicam o AHP como uma técnica eficiente para recuperar o peso a partir de dados de comparação par a par, ou seja, o método de cálculo do vetor de prioridades (*eigenvector prioritization method*, apresentado em Saaty, 1980).

Guo (2010), Pang *et al.* (2011), Kaya e Kahraman (2011) e Yazdani-Chamzini *et al.* (2013) propõem metodologias combinando o método AHP com o método original ELECTRE I. Os procedimentos do AHP determinam a importância relativa dos critérios de avaliação e o ELECTRE avalia as relações de dominância entre as alternativas. Estes autores utilizaram também o cálculo dos valores de concordância líquida e de discordância líquida para obterem a ordenação das alternativas.

Na literatura surgem duas abordagens recentes de aplicação de métodos MCDA que mereceram especial atenção nesta investigação. Ambas utilizam o método *Analytic Network Process* (ANP), uma extensão do método AHP: uma para a escolha das práticas e dos indicadores de desempenho adequados numa cadeia de abastecimento (Cabral, Grilo, e Cruz-Machado, 2012); e outra para ajudar os gestores de manutenção na definição e seleção dos indicadores de desempenho relevantes (Horenbeek e Pintelon, 2014). No entanto, estes métodos têm algumas limitações.

5.2.2.1. Limitações do método AHP

O AHP é um método de variadíssimas aplicações e frequentemente encontrado na literatura. No entanto, Yoon e Hwang (1995) e também Saaty e Ozdemir (2003) chamam a atenção para a teoria de “Miller”, na qual, sete mais ou menos dois (7 ± 2), representa a maior quantidade de informação que um observador pode dar sobre um objeto a partir de um julgamento absoluto. Saaty e Ozdemir (2003) concluem que, ao fazer julgamentos de preferência em pares de elementos, tal como é feito no AHP, o número de elementos não deve ser superior a sete. A utilização na prática do AHP torna-se difícil para um elevado número de alternativas, uma vez que implica um grande número de comparações. Saaty e Ozdemir (2003) referem que, quando o

número de elementos é maior do que sete, o aumento resultante na inconsistência é pequena demais para a mente destacar o elemento que causa a maior inconsistência, para analisar e corrigir a sua relação com os outros elementos. Por outras palavras, a mente é suficientemente sensível para melhorar grandes inconsistências, mas para pequenas inconsistências não. Para evitar essa confusão na mente dos decisores (tomadores de decisão) a partir da informação existente, Saaty e Ozdemir (2003) sugerem um limite máximo de sete mais ou menos dois elementos em análises com o método AHP. Assim, os critérios principais e subcritérios estão limitados em número de sete, com base na teoria de “Miller”. Esta é certamente uma limitação do AHP, desaconselhando o seu uso na solução de problemas de decisão com elevado número de alternativas e critérios.

O método AHP tem contudo algumas outras limitações e eventualmente existe a possibilidade de se cometerem erros de decisão, sem a consciência do tomador de decisão ou de quem conduz a avaliação dos elementos.

Figueira *et al.* (2009) referem que os valores fornecidos pelo vetor de prioridades do AHP são conseguidos através da agregação de médias ponderadas das avaliações dos critérios, estando assim implícita a compensação desses valores. O AHP é um método compensatório, significando que, o bom desempenho de uma alternativa em determinado critério, pode compensar o seu mau desempenho noutra critério. A compensação da perda na avaliação num critério como ganho noutra critério pode não ser bem aceite pelo decisor, pelo que se torna aconselhável o uso de métodos de agregação não compensatórios.

Bana e Costa e Vansnick (2008) abordam um problema crítico a respeito do vetor de prioridades e do rácio de consistência do AHP. Estes autores demonstram que nem sempre os valores do vetor de prioridades preservam a ordem das respetivas intensidades de preferências, embora o rácio proposto para aferir a consistência dos julgamentos humanos não detete perturbações. Ou seja, os pesos calculados pelo método do vetor de prioridades do AHP podem não refletir corretamente a intensidade dos julgamentos estabelecidos pelo decisor por comparação de pares de critério. Bana e Costa e Vansnick (2008) comprovam diante de exemplos que o resultado do vetor de prioridades pode violar a condição de preservação da ordem. Nos casos apresentados, verificou-se que, face a determinados julgamentos através de comparações de pares de critérios pela sua importância relativa, a sua ordem não foi preservada, tendo em atenção os resultantes pesos finais. Entre os exemplos apresentados nesta crítica ao AHP inclui-se um exemplo que Saaty utilizou nas suas publicações. Bana e Costa e Vansnick (2008) consideram que o método de cálculo do vetor de prioridades tem uma fraqueza grave que torna o uso do AHP como uma ferramenta de apoio à decisão muito problemática. Por essa razão, o uso do método AHP também não é aconselhável para o cálculo dos pesos dos critérios.

No entanto, muitos autores recorrem ao método AHP para o cálculo dos pesos dos critérios. Será necessária, portanto, alguma prudência e análise aos resultados dos pesos extraídos pelo cálculo do vetor de prioridades do AHP, confirmando se os mesmos traduzem a informação de preferência para o tomador de decisão, ou seja, a importância relativa dos critérios no processo de decisão.

Um outro aspeto negativo a apontar na aplicação do método AHP é o facto de o número de comparações necessárias poder crescer rapidamente com o aumento do número de critérios e subcritérios a considerar na avaliação de alternativas num determinado problema. Este aspeto é também refletido na extensão ANP, uma vez que recorre também ao cálculo do vetor de prioridades, tal como o método AHP. Por exemplo, Cabral *et al.* (2012) mencionam que as principais desvantagens do modelo ANP que propõem são o grande número de comparações necessárias e os problemas de inconsistência. Horenbeek e Pintelon (2014) salientam que, na abordagem ANP realizada, por vezes, os tomadores de decisão encontraram dificuldades para expressar preferências, utilizando a escala de razão definida pelo método. Outra observação destes autores é que uma abordagem ANP poderá exigir um esforço considerável e tempo dos tomadores de decisão.

5.2.2.2. Procedimentos do método AHP

Saaty (1987) começa a descrição do método AHP explicando que o decisor deve estabelecer prioridades entre os critérios, julgando-os em pares pela sua importância relativa, gerando assim uma matriz de comparação par a par. O método AHP compara dois critérios ao mesmo tempo (comparação pareada) usando os julgamentos do decisor como um rácio de preferência (importância) entre eles.

Para efetuar as comparações de pares (julgamentos), Saaty aconselha a Escala Fundamental do AHP, apresentada na Tabela 5.2, que utiliza os seguintes valores: 1/9, 1/8, 1/7, 1/6, 1/5, 1/4, 1/3, 1/2, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9.

Tabela 5.2- Escala Fundamental do AHP (Saaty)

Intensidade de Importância	Definição	Explicação
1	Igual importância	As duas atividades contribuem igualmente para o objetivo
3	Fraca importância de uma sobre a outra (um pouco mais importante)	A experiência e o julgamento favorecem ligeiramente uma atividade em relação à outra
5	Importância essencial ou forte (muito mais importante)	A experiência e o julgamento favorecem fortemente uma atividade em relação à outra
7	Importância demonstrada (bastante mais importante)	Uma atividade é fortemente favorecida em relação à outra e a sua dominância é demonstrada na prática
9	Importância absoluta (absolutamente mais importante)	A evidência favorece uma atividade em relação à outra com o mais alto grau de certeza (afirmação)
2, 4, 6 e 8	Valores intermédios entre dois julgamentos adjacentes	Quando é necessário uma condição de compromisso entre duas definições
Recíproco	Se a atividade i tem atribuído um dos números acima diferentes de zero, quando comparada com a atividade j , então j tem o valor recíproco quando comparada com i	

Utilizando a Escala Fundamental do AHP, o decisor expressa, numericamente, as relações de dominância relativa entre os critérios, as quais formam uma matriz de comparação onde os

valores recíprocos são automaticamente inseridos na posição de transposição. A um critério em comparação com ele próprio é sempre atribuído o valor “1” para que os valores da diagonal da matriz de comparação par a par sejam todos “1”. Matematicamente será necessário um total de $n(n-1)$ comparações para estabelecer a importância relativa entre os n critérios, e portanto o decisor estará envolvido em $n(n-1)/2$ comparações.

O método AHP é apresentado em Saaty (1980), Wind e Saaty (1980), Saaty (1987), Yoon e Hwang (1995), Triantaphyllou *et al.* (1997), Saaty (2004), Saaty (2008) e Ishizaka *et al.* (2012), todos com exemplos ilustrativos.

A base matemática do AHP a aplicar como método de cálculo do vetor de pesos (importância relativa dos critérios) ou vetor de prioridades, também chamado de método de cálculo do autovetor (*eigenvector prioritization method*), consiste nos seguintes passos:

Passo 1: Considere-se n critérios a serem comparados (C_1, C_2, \dots, C_n) e os julgamentos (juízos) quantificados pelo decisor representados pela matriz de comparação de pares $A' = (a_{ij})_{n \times n}$, onde a_{ij} representa a importância do critério i sobre o critério j , para i e $j = 1, 2, \dots, n$. Para atribuição de valores aos elementos a_{ij} é usada a Escala Fundamental do AHP apresentada na Tabela 5.2 e aplicada a regra da reciprocidade, ou seja, $a_{ij} = 1/a_{ji}$, para $i \neq j$, e $a_{ii} = 1$. Por exemplo, se o critério C_i é absolutamente mais importante que o critério C_j , $a_{ij} = 9$, então C_j deve ser absolutamente menos importante que C_i , $a_{ji} = 1/9$. A matriz de comparação tem a forma como se segue:

$$A' = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ 1/a_{12} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1/a_{1n} & 1/a_{2n} & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (5.41)$$

Passo 2: Calcular o vetor de prioridades. Cálculo do vetor de prioridade com os pesos ou importância relativa dos critérios, o que tecnicamente é chamado de autovetor. Saaty (1987) salienta que há diversas formas de derivar o vetor de prioridades da matriz de comparação e considera que um modo fácil é normalizar as médias geométricas das suas linhas. Sendo w_n o peso de importância de C_n então, o vetor de prioridade será $W = (w_1, w_2, \dots, w_n)$. Por conseguinte, a média geométrica de cada linha da matriz A' , representadas por w^j_j , é obtida utilizando a fórmula:

$$w^j_j = \left(\prod_{k=1}^n a_{jk} \right)^{1/n} = \sqrt[n]{a_{j1} \cdot a_{j2} \cdot \dots \cdot a_{jn}} \quad \text{onde } j \text{ e } k = 1, 2, \dots, n \quad (5.42)$$

Em seguida, cada peso w_j é determinado por normalização de cada valor resultante w'_j como se segue:

$$w_j = \frac{w'_j}{\sum_{j=1}^n w'_j} \quad \text{onde } j = 1, 2, \dots, n \quad (5.43)$$

Assim, será dado o vetor de prioridades W que deverá satisfazer a condição $\sum_{j=1}^n w_j = 1$.

Wind e Saaty (1980), Saaty (1987) e Yoon e Hwang (1995) referem que a média geométrica normalizada das linhas pode ser usada como uma boa aproximação para cálculo do vetor de prioridades. As prioridades resultantes representam a intensidade dos julgamentos do decisor na percepção sobre a importância relativa e compromissos entre os critérios (Wind e Saaty, 1980).

Uma vez que o decisor induz um julgamento e automaticamente é impelido o seu valor recíproco na posição de transposição, Wind and Saaty (1980) argumentam que tal facto causa perturbações na matriz A , as quais conduzem a perturbações no vetor de prioridades W .

Será necessário que os julgamentos humanos sejam consistentes, o que pode ser provado se forem transitivos, ou seja, a condição $a_{ik} = a_{ij} \cdot a_{jk}$ deve ser verdadeira para todo o i, j e k . Se a condição anterior for verdadeiro para qualquer combinação de comparações tomadas a partir da matriz de julgamento, existe consistência e os pesos resultados são fiáveis. No entanto, o método AHP permite comparações de pares ligeiramente inconsistentes. O próximo passo mostra como pode ser verificada a consistência da matriz de comparação par a par.

Passo 3: Cálculo da Consistência. Para Saaty (1980), as comparações de pares numa matriz de julgamentos são consideradas consistentes se o Rácio de Consistência correspondente (CR - *Consistency Ratio*) for inferior a 10%. Para tal, Saaty considera que o vetor W tem que satisfazer a equação $A \cdot W = \lambda_{\max} \cdot W$ e $\lambda_{\max} \geq n$.

Portanto, o próximo passo será calcular o valor próprio de A' ou autovalor máximo (*maximum eigenvalue*), designado por λ_{\max} . Isso é feito através da multiplicação da matriz de julgamentos A pelo vetor de prioridades W , obtendo-se um novo vetor, cujos elementos serão divididos pelos elementos correspondentes do vetor de prioridades. A média destes valores é a estimativa de λ_{\max} , que nunca deverá ser menor do que n , caso contrário, houve um erro nos cálculos. Então, o Índice de Consistência (CI - *Consistency Index*) é calculado através da seguinte fórmula:

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (5.44)$$

Finalmente, o Rácio de Consistência (CR - *Consistency Ratio*) é dado por:

$$CR = \frac{CI}{RCI} \quad \text{onde } RCI \text{ é um valor dado pela Tabela 5.3.} \quad (5.45)$$

O rácio de consistência é obtido comparando (fórmula 5.45) o valor do índice de consistência (IC) com o valor do índice aleatório de consistência (RCI - *Random Consistency Index*). O conceito do RCI foi introduzido por Saaty, com o propósito de estabelecer um limite superior para o quanto a inconsistência pode ser tolerada num processo de decisão. Saaty usou um elevado número de matrizes recíprocas de ordem crescente, geradas aleatoriamente e calculou a média dos seus índices de consistência aleatórios. Na Tabela 5.3 são fornecidos os valores médios obtidos que Saaty aconselha para comparar com o valor de CI de cada caso e verificar a existência de possíveis distúrbios (perturbações) nos julgamentos.

Tabela 5.3 – Valores do índice aleatório de consistência – RCI (Saaty)

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
RCI	0	0	0,52	0,89	1,11	1,25	1,35	1,40	1,45	1,49	1,52	1,54	1,56	1,58	1,59

Quanto maior for CR maior será a inconsistência. Para $n = 1$ ou $n = 2$, CR é nulo. Quando $n = 3$, CR deve ser menor que “0,05”. Quando $n = 4$, CR deve ser menor que “0,09”. Para $n > 4$, CR deve ser menor ou igual a “0,1”.

Se o valor de CR é maior que “0,1”, então, recomenda-se um estudo mais aprofundado do problema e a reavaliação das comparações par a par. Saaty sugere que se CR excede “0,1”, o conjunto de julgamentos pode estar demasiado inconsistente para ser fiável e por isso aconselha a estudar o problema e rever os julgamentos. Apenas um valor de CR igual a zero significa que os julgamentos são perfeitamente consistentes.

Existe no mercado algum *software* que auxilia a implementação do AHP como por exemplo: *Expert Choice*, *Hipre3+*, *Inpre*, *Criterium*, *Automan*, *NCIC*, entre outros. O *software Expert Choice* é o mais utilizado e encontra-se disponível na internet uma versão demonstrativa, contudo, para uso limitado e temporário, cujo acesso é gratuito apenas para avaliação das suas potencialidades.

É possível aplicar o método AHP recorrendo a folhas de cálculo. No entanto, dada a complexidade de critérios por vezes identificados e para uma maior versatilidade, torna-se necessário e vantajoso, na maior parte dos casos, a utilização de um *software* adequado que permita a execução dos cálculos matriciais e dos índices de consistência intrínsecos ao AHP.

Para ultrapassar estas dificuldades, os procedimentos matemáticos do AHP foram também programados em "Excel VBA", permitindo assim o cálculo computacional, independentemente do número de alternativas e/ou critérios. O código desenvolvido em VBA para esta aplicação informática pode ser consultado no Anexo IV.

5.2.3. Procedimento Simos revisto – *Software* SRF

Simos (1990) propôs um procedimento para auxiliar o tomador de decisão a expressar-se quanto à importância relativa de critérios num processo de decisão. Esse procedimento foi posteriormente revisto por Figueira e Roy (2002). Na base do procedimento é assumido que, da mesma forma que saber o peso de diferentes objetos permite alinhá-los do mais leve ao mais pesado, também é implícito que a preferência entre critérios, permite ordená-los segundo a sua importância relativa.

O “procedimento de Simos revisto” é uma das técnicas aconselhadas para determinar ou induzir os valores apropriados para os pesos dos critérios, nomeadamente, quando utilizados métodos de apoio à decisão dentro da família de métodos ELECTRE.

Os pesos dos critérios, denotados por $W = (w_1, w_2, \dots, w_n)$, são necessários no âmbito do processo de agregação de métodos do tipo ELECTRE e podem ser interpretados como o poder de cada critério (Figueira e Roy, 2002) na comparação de pares entre duas alternativas diferentes de acordo com os seus desempenhos.

O *software* SRF (Simos-Roy-Figueira) é uma implementação do “procedimento de Simos revisto” (Figueira e Roy, 2002) e foi desenvolvido com um algoritmo para atribuir valores numéricos à importância relativa dos critérios, muitas vezes referida como peso dos critérios. Quanto maior o peso de um critério, mais importante o critério é.

No contexto do apoio à decisão, conhecer as preferências do tomador de decisão e determinar os pesos dos critérios é uma questão muito difícil. Existem inúmeras formas de avaliação de pesos e o “procedimento de Simos revisto” é uma das técnicas, que é usada para obter as preferências do tomador de decisão e determinar o valor apropriado para o peso de cada critério. Este método tem como objetivo atribuir um peso intrínseco a cada critério sem dependência no intervalo da escala, nem na codificação para expressar a pontuação nessa escala. Por outro lado, o tomador de decisão tem a possibilidade de expressar as suas preferências de forma espontânea e alcançar os resultados de forma coerente, sem qualquer aplicação de técnicas de agregação de soma ponderada. Isso significa que o valor de cada um dos critérios é determinado, sem ter em conta o impacto do valor que outro critério pode ter.

No “procedimento de Simos revisto”, os nomes dos critérios são escritos num conjunto de cartões que o tomador de decisão ordena a partir do critério menos importante para o mais importante, de acordo com a sua perspectiva e preferência. Assim, a ordenação será em ordem crescente e alguns critérios podem ocupar a mesma posição, se forem vistos como tendo a mesma importância. Em seguida, podem ser introduzidos cartões em branco entre os critérios sucessivos, tendo em consideração a maior ou menor diferença da sua importância. Quanto maior for a diferença entre os pesos dos critérios, maior deve ser o número de cartões em branco a serem colocados.

Na utilização do *software* SRF, a ordenação dos critérios e o número de cartões brancos entre os critérios, são informação a introduzir através de um questionário simples, onde o tomador de decisão é também chamado a declarar quantas vezes o critério mais importante é considerado

mais importante do que o menos importante na ordenação (valor Z). Podem, porém, ser introduzidos diferentes valores para a relação Z , caso o tomador de decisão não se sinta confiante o suficiente expressando-se com um único valor constante. Isso permite analisar o efeito da alteração em Z nos resultados do *software*.

Finalmente, os pesos dos critérios são determinados e exibidos como pesos não normalizados e pesos normalizados. Os pesos normalizados são normalmente mais inteligíveis e favoráveis para as comparações.

Mais detalhes sobre o “procedimento de Simos revisto” e sobre o *software* SRF, podem ser encontrados na literatura em Figueira e Roy (2002). O *software* SRF pode ser solicitado gratuitamente na internet (<http://www.lamsade.dauphine.fr/>), para fins acadêmicos.

A versão revista do procedimento de Simos é na verdade uma abordagem indireta para avaliar os pesos de importância de critérios, e é geralmente bem aceita pelos tomadores de decisão que não estão familiarizados com os métodos MCDA. É de salientar que se torna desconfortável para o tomador de decisão, extrair informação de preferência de forma direta (por exemplo, valores de pesos). O *software* SRF permite uma fácil recolha de dados e também um processamento rápido da informação para obter resultados aceitáveis.

Numa revisão global aos métodos ELECTRE e às suas mais recentes extensões, Figueira *et al.*, (2013) aconselham o uso do *software* SRF uma vez que os resultados extraídos expressam exatamente o significado pretendido para a importância dos critérios de acordo com a preferência dos tomadores de decisão.

Gonçalves *et al.* (2014a), Gonçalves *et al.* (2014b), Figueira *et al.* (2011) e Augusto *et al.* (2005) utilizaram o *software* SRF para determinar os pesos dos critérios considerados importantes para a resolução de diferentes problemas de decisão, através de diferentes métodos da família ELECTRE.

5.2.3.1. Principais vantagens do procedimento de Simos revisto:

O tomador de decisão é frequentemente solicitado para atribuir um valor ao parâmetro peso de cada critério, ou seja, atribuir diretamente um valor preciso da importância relativa de cada critério. Para a maioria dos tomadores de decisão, esta é uma tarefa muito difícil. O procedimento de Simos revisto, assistido pelo *software* SRF, foi concebido para extrair as preferências do tomador de decisão e determinar indiretamente os valores numéricos para os pesos dos critérios, evitando assim o difícil e desconfortável processo de atribuição direta.

Esta técnica é de fácil utilização para qualquer tomador de decisão, mesmo não familiarizado com os métodos MCDA. Permite que o tomador de decisão expresse, indiretamente e de forma espontânea, as suas preferências e extraia os valores dos pesos de cada critério, necessários para aplicação em métodos do tipo ELECTRE, na resolução de problemas de decisão onde seja requerida a ordenação e seleção de alternativas.

O procedimento de Simos revisto é um método não compensatório, ou seja, o valor ou peso de cada critério é determinado sem dependência do valor de qualquer outro critério (Figueira *et al.*, 2013).

Os procedimentos e o software podem ser utilizados não só para determinar os pesos dos critérios nos métodos do tipo ELECTRE, mas também noutros contextos, como por exemplo para construir uma escala intervalar ou uma escala de rácio, de razão ou proporção (Figueira e Roy, 2002).

No contexto do apoio à decisão multicritério os mesmos procedimentos podem também ser usados para adaptar ou converter a escala de um determinado critério, numa escala intervalar ou numa escala de rácio.

5.2.3.2. Limitações do SRF e do procedimento de Simos revisto:

O procedimento de Simos revisto, e como é evidente o *software* SRF, não devem ser utilizados para a determinação de coeficientes ou pesos de uma soma ponderada. Estes procedimentos devem ser reservados para a determinação de pesos intrínsecos, correspondentes ao número de votos que podem ser atribuídos a cada critério num processo de votação (Figueira *et al.*, 2013). É referido em Figueira e Roy (2002) que o uso de pesos nos processos de agregação, tal como na soma ponderada, não tem essa característica intrínseca. No caso da soma ponderada, o facto do peso de um determinado critério ser maior do que o de outro pode não ter sempre o mesmo significado, porque algumas alterações no intervalo ou nas unidades da escala pode inverter as posições desses dois critérios.

As limitações desta técnica/método podem, porém, revelar-se no seio dos próprios procedimentos e no modo como a informação de preferência é requerida ao tomador de decisão, para encontrar os valores numérico da importância relativa (pesos) dos critérios.

Pode ser difícil para o decisor ordenar determinados critérios que julgue segundo a sua preferência estarem bastante próximos. Pelo facto de colocar um dos critérios na primeira posição, pode sentir que está a cometer um erro e não sentir confiança na ordenação dos restantes critérios para as posições seguintes.

Também pode ser difícil para o decisor determinar o número de cartões brancos entre dois critérios ou “conjuntos de critérios” (*ex aequo*) consecutivos (Augusto *et al.*, 2005).

O decisor terá que se manifestar também quanto ao número de vezes que o critério mais importante é mais importante que o menos importante de todos. Porém, para a maioria dos decisores, é difícil definir a natureza exata dessa diferença, tendo esta que ser expressada numericamente.

Podem, contudo, ser construídos vários e distintos cenários de ordenações de critérios e/ou com diferentes números de cartões brancos. Desta forma, para além de envolver o tomador de decisão

em tarefas algo importunas, ele terá sempre que optar por um dos cenários, o que também constitui um problema de decisão.

5.3. Aplicação dos métodos MCDA

Neste trabalho utilizam-se métodos MCDA para a problemática da ordenação de alternativas e metodologias com procedimentos para a atribuição de pesos. Os métodos apresentados neste capítulo são aplicados nos procedimentos da metodologia desenvolvida para a seleção de indicadores de desempenho relevantes para uma avaliação LARG à gestão da manutenção. Pretende-se sobretudo, apresentar um modelo capaz de avaliar o desempenho da gestão da manutenção LARG praticada para manter a eficiência de funcionalidades em edifícios.

No contexto do apoio multicritério à decisão são propostas várias abordagens, algumas das quais apresentam metodologias bastante complexas, quer pela extensão matemática, quer pelo facto de exigirem avultada informação com cariz subjetivo da parte do decisor. Acresce-se a condição em que se encontra o decisor face ao problema de decisão, e em que circunstâncias as informações subjetivas comprometem a sua responsabilidade. Estas são algumas das dificuldades que podem tornar desconfortável a posição do decisor no processo de decisão e também constituir obstáculo à sua confiança nos resultados obtidos.

Por um lado, o decisor só sentirá confiança nos resultados se conhecer bem os métodos. Por outro lado, mesmo que o decisor conheça e compreenda os procedimentos metodológicos dos métodos, é pouco natural que o decisor se sinta completamente seguro com os resultados obtidos, uma vez que a maioria dos métodos, requerem a fixação de parâmetros, cuja perceção não é imediata e eventualmente o decisor sentirá falta de convicção a responder a questões de natureza subjetiva.

Entende-se que a utilização do computador no apoio à decisão é fundamental, pois para além de possibilitar a obtenção de resultados com maior rapidez, permite executar trabalhos com maior quantidade de dados, do que o possível de qualquer outro modo. A versatilidade proporcionada pelos meios informáticos pode encorajar ainda o decisor na experimentação dos métodos com diferentes conjuntos de dados e na verificação do impacto da variação de alguns parâmetros nos resultados fornecidos pelos métodos. O desempenho do cálculo computacional, tanto pela fiabilidade dos resultados, como pelo tempo de resposta rápida pode encorajar o decisor a ser mais exaustivo, sobretudo na análise de sensibilidade dos resultados, mediante a construção de diferentes cenários dos problemas. A fase de análise de sensibilidade para verificar a robustez dos resultados obtidos é também muito importante no despiste das respostas subjetivas dos intervenientes. A interatividade de uma ferramenta informática torna-se ainda mais importante nas situações em que existem vários decisores para analisar as opções de decisão em conjunto, sugerindo diferentes modos de variar os parâmetros solicitados pelos métodos.

Uma outra vantagem na utilização do cálculo computacional no seio de problemáticas MCDA é o facto de criarem oportunidades para aumentar a dimensão dos problemas a resolver. Neste

sentido, o decisor poder-se-á sentir mais confiante e determinado em admitir um maior número de alternativas e/ou critérios para evidenciar melhor as suas preferências.

A computação dos métodos MCDA é hoje uma exigência face à complexidade dos métodos, à grande dimensão dos problemas, à quantidade de informação necessária para definir as preferências dos agentes na decisão, às análises de sensibilidade necessárias e, sobretudo, face à morosidade de resolver tais problemas sem esse auxílio. A complexidade dos métodos MCDA exclui quase sempre a resolução manual. Figueira *et al.* (2005) consideram que a aplicação de métodos MCDA requer quantidades consideráveis de cálculo, tais que, sem o uso de um *software* especializado é dificilmente imaginável.

Distintas contribuições na literatura referem a interface amigável de *software* para auxiliar os decisores na aplicação de métodos MCDA para resolução de problemas de decisão. Para permitir a análise computacional a problemas de decisão, recorrendo à aplicação de modelos MCDA, os métodos podem também ser programados com recurso a linguagens relativamente acessíveis (Gonçalves *et al.*, 2014a).

Como resultado da pesquisa empreendida sobre *software* com a implementação dos algoritmos e procedimentos matemáticos dos métodos MCDA apresentados neste capítulo, resumem-se os seguintes pontos:

- Não foram encontradas aplicações informáticas com a formulação matemática do método ELECTRE I original;
- O *software* SRF com o procedimento Simos revisto e um *software* com a implementação do algoritmo do método ELECTRE III, podem ser solicitados gratuitamente na internet (<http://www.lamsade.dauphine.fr/>), para fins académicos;
- Relativamente ao método AHP, embora exista, disponível na internet, *software* demonstrativo gratuito, o seu uso é limitado e temporário.

Na literatura é apresentado diverso *software* com a implementação de métodos MCDA, mas a maioria dessas ferramentas são programadas pelos próprios autores, normalmente estão ainda em fase experimental e relacionam-se com a pesquisa académica. Neste âmbito, essas aplicações informáticas podem eventualmente ser disponibilizadas pelos próprios autores ou pelas universidades que as desenvolveram, normalmente, mediante solicitação, pois na internet raramente estão acessíveis e disponíveis.

Assim, os métodos ELECTRE I original com as extensões para análise complementar e o método AHP foram programados para implementar os respetivos algoritmos numa ferramenta informática. Os procedimentos desses métodos foram programados através do *software* “Microsoft Office Excel”, por meio da linguagem VBA (*Visual Basic for Applications*), para permitir a aplicação de cálculo computacional na metodologia proposta no presente trabalho (Anexo IV).

O *software* SRF e o *software* do método ELECTRE III foram solicitados pela internet, diretamente aos autores e investigadores que os conceberam (<http://www.lamsade.dauphine.fr/>).

CAPÍTULO 6

METODOLOGIA PROPOSTA

6.1. Introdução

Neste capítulo apresenta-se a metodologia desenvolvida e proposta para a avaliação do desempenho da gestão da manutenção LARG (*Lean, Agile, Resilient and Green*).

O presente estudo pretende contribuir com um modelo de gestão de manutenção num formato mais eficiente, integrando metodologias, que, sendo implementadas, podem contribuir para a tomada de decisões estratégicas eficazes na gestão e manutenção de ativos. Todavia, deu-se especial atenção ao enquadramento e aplicabilidade destas metodologias no âmbito da gestão da manutenção de ativos físicos em edifícios. A metodologia desenvolvida proporciona uma visão global do desempenho da gestão da manutenção, cuja interpretação possibilita a otimização das suas atividades e da aplicação dos seus recursos, em função da criticidade dos ativos físicos na estratégia de negócio das organizações, atendendo ao conceito LARG.

A metodologia desenvolvida baseia-se no uso de um sistema harmonizado de uma série de indicadores de desempenho que permitam avaliar a sua gestão da manutenção no âmbito LARG.

É proposta uma metodologia MCDA para a seleção dos indicadores de desempenho da manutenção (KPIs) mais relevantes para cada paradigma LARG, e que cobrem as necessidades de medição como forma de controlo dos principais aspetos da manutenção e estratégias estabelecidas.

Na prossecução deste modelo, a quantificação dos indicadores permitirá determinar o desempenho da manutenção ao nível de cada um dos paradigmas LARG e o cálculo de um índice de desempenho global da gestão da manutenção.

O objetivo fundamental da metodologia proposta é proporcionar uma avaliação do desempenho da gestão da manutenção, particularizada para edifícios, numa abordagem LARG. Todavia, a metodologia aqui proposta pode ser estendida na abrangência da gestão da manutenção, nomeadamente em aplicações na manutenção industrial. Neste trabalho de investigação deu-se primordial importância à manutenção em edifícios pelo facto de existir um menor número de contribuições científicas e, por esse motivo, existir carência de metodologias mais adequadas e/ou direcionadas com interesse capital à gestão da manutenção em edifícios.

6.2. Avaliação de Desempenho da Gestão da Manutenção

A competitividade de uma empresa deriva diretamente do desempenho que os seus processos produtivos possam ter. O desempenho do nível operacional de uma empresa pode ser refletido na quota de mercado que detém, no nível da satisfação do cliente e na posição competitiva que ocupa no contexto do negócio. A avaliação de desempenho de uma empresa é uma ferramenta para medir a obtenção dos objetivos organizacionais.

A existência de medidas de avaliação de desempenho, tal como a sua exata interpretação, são vitais para garantir o sucesso da organização. É essencial para qualquer gestor saber o que aconteceu e porque aconteceu para tomar decisões direcionadas para a melhoria do desempenho futuro.

A gestão da manutenção é uma atividade indispensável no seio de qualquer empresa que detenha património imobiliário e ativos produtivos ou que assegurem determinado serviço. Gerir a manutenção de ativos pressupõe definir objetivos possíveis de atingir e delinear estratégias exequíveis para garantir as suas funções e condições operacionais, tudo a um custo global otimizado. Os gestores da manutenção devem recorrer à avaliação do desempenho da sua atividade.

Para uma gestão eficaz da manutenção deve-se dispor de informação relativa a todos os aspetos da sua atividade e quantificar o seu desempenho intrínseco. Em função dos objetivos e estratégias definidas, o gestor da manutenção estabelece planos e programas para as ações de manutenção necessárias a implementar, segundo as condições funcionais dos sistemas e equipamentos. O gestor da manutenção deve dispor de dados, de modo a caracterizar as condições e evolução da manutenção e que lhe permita tomar decisões conducentes à melhoria contínua na orientação das suas atividades.

A medição e avaliação do desempenho da manutenção pressupõem a identificação de métricas pertinentes, ou seja, sistematizar aquelas que parecem ser relevantes no desempenho da manutenção e que habilitam a gestão na perceção da realidade e do seu sucesso operacional. Essas informações relevantes devem permitir, através de uma análise estreita, não só a correção de possíveis desvios técnicos e funcionais, face a resultados espectáveis, como também o estabelecimento de novas estratégias e objetivos para a manutenção. A quantificação de cada indicador é obtida a partir de conjuntos de dados, característicos de fenómenos, coligidos e tratados de modo a expressarem fatores que influenciam a manutenção. Os dados, que intervêm na formulação dos indicadores, serão designados de parâmetros (sem qualquer predominância estatística) e podem estar relacionados com diversos fatores, designadamente, com tempo, com esforço dos colaboradores, com custo, com receitas, com quantidades de itens, com o número de acontecimentos, sucessos alcançados, entre outros. Na seleção de indicadores podem ser identificados indicadores globais do funcionamento da manutenção e indicadores específicos para reportar aspetos mais particulares da sua atuação.

O conjunto de indicadores eleitos pela gestão exprimem o que se pretende avaliar e que interessa caracterizar para aferir o seu desempenho. Contudo, devem interpretar os objetivos da empresa e as estratégias traçadas em função da natureza do negócio. Os objetivos da manutenção têm que ser ligados aos objetivos globais da empresa, uma vez que a manutenção afeta a rentabilidade geral da empresa. A manutenção, embora não contribua diretamente para a obtenção de receitas para as organizações, tem incontestavelmente efeitos sobre a rentabilidade dos seus processos.

Do ponto de vista esquemático, a área de ação da gestão da manutenção pode ser representada como ilustra a Figura 6.1.

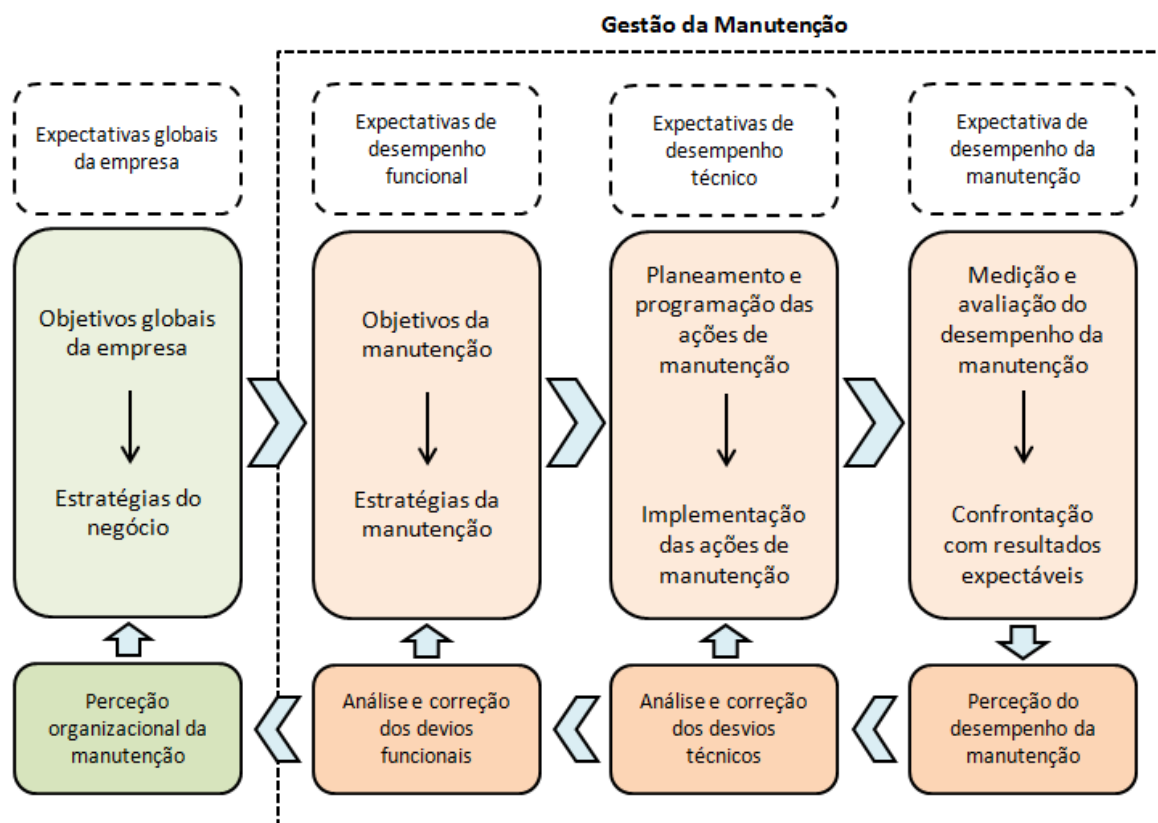


Figura 6.1 – Gestão da manutenção, expectativas e desempenho

Os indicadores de manutenção são uma ferramenta indispensável para os gestores da manutenção. Cabral (2009) salienta que a eleição destes indicadores é, porventura, a ação mais subtil da gestão da manutenção. Para Pacaiova *et al.* (2013) é importante encontrar a forma como escolher os indicadores certos, os quais são adequados para a avaliação do processo e não apenas para arquivo. Estes autores referem também que os dados do indicador e a sua análise devem fornecer informação para a tomada de decisão certa e cujos resultados da decisão tenham efetivamente aplicação prática. Para além do cálculo do indicador, Parida e Kumar (2009) adiantam que, é importante que este contribua para o aumento das competências da gestão da manutenção, atribuindo-lhe compreensão do mecanismo por detrás do indicador.

A gestão da manutenção deverá adotar um processo de registo, de análise e apresentação dos dados disponíveis, constituindo uma base de dados no sistema de informação, do qual deverão fazer parte integrante o conjunto de indicadores considerados importantes e fundamentais. Os dados devem ser apresentados sob uma forma não ambígua e fácil de apreender, nomeadamente, as representações gráficas podem ser elementos facilitadores e eficazes, uma vez que são formas de representação mais expressivas. A utilização de indicadores requer geralmente uma apresentação gráfica (NP EN 15341). Convirá fazer ressaltar sobre os gráficos os valores que se identificarem mais pertinentes ou que se encontrem fora dos objetivos estabelecidos.

Para o caso específico da gestão da manutenção LARG, desconhecem-se estudos que indiquem sobre os melhores indicadores para avaliar o respetivo desempenho atual e perspetivar o futuro. Com a metodologia proposta, pretende-se estabelecer um método para auxiliar a selecionar indicadores de desempenho relevantes para a gestão da manutenção e fornecer um modelo para a sua avaliação global LARG. O modelo desenvolvido pretende apoiar os responsáveis pela manutenção na decisão pelas métricas mais reveladoras, de acordo com as suas preferências no entendimento de múltiplos critérios, e proporcionar a avaliação do desempenho da gestão da manutenção LARG.

O desafio deste trabalho é também estudar e explorar os indicadores que permitam uma avaliação objetiva ao desempenho da gestão da manutenção LARG nas empresas.

6.3. Modelo para avaliação LARG

A metodologia que se propõe para avaliação da gestão da manutenção LARG em edifícios pressupõe a seleção de indicadores chave de desempenho (KPIs). O objetivo é diminuir a complexidade, tornando mais simples e objetivo o trabalho de qualquer gestor na identificação dos indicadores relevantes na medição do desempenho da gestão das atividades da manutenção.

O modelo desenvolvido consta na aplicação de diversas metodologias e considera as seguintes etapas:

- Definição dos objetivos e estratégias da gestão da manutenção;
- Pré-seleção de indicadores chave de desempenho (KPIs) da manutenção como alternativas possíveis a incorporar a avaliação nas quatro categorias LARG;
- Definição dos critérios de avaliação das alternativas (KPIs);
- Determinação dos pesos dos critérios e definição dos seus limiares de discriminação;
- Avaliação dos KPIs por meio de uma escala discreta de valores de importância e de acordo com os critérios definidos;
- Aplicação dos métodos MCDA propostos (ELECTRE) para ordenação decrescente dos KPIs, considerando a avaliação de preferência do decisor;

- Análise dos resultados obtidos pela aplicação dos métodos MCDA e seleção dos KPIs considerados relevantes e que interpretem a plenitude dos objetivos e estratégias da manutenção;
- Quantificação dos KPIs selecionados para cada categoria LARG;
- Determinação dos pesos para a agregação dos KPIs, nomeadamente, através de técnicas MCDA;
- Cálculo do índice de avaliação global do desempenho da gestão da manutenção LARG;
- Representação gráfica dos resultados da avaliação como forma de analisar as distintas contribuições na obtenção de um determinado índice global LARG e perceção do desempenho da manutenção;
- Análise de sensibilidade aos resultados proporcionados pelo modelo de avaliação e delineação de ações para correção dos desvios técnicos e funcionais detetados;
- Análise e compreensão das boas práticas que permitiram a evolução do desempenho da manutenção face a avaliações anteriores (quando aplicável) no enalço da melhoria contínua.

Os dados, os resultados e toda a informação derivada da aplicação da metodologia e do processo de avaliação devem constituir elementos para atualização do histórico na empresa, assim como, proporcionar o conhecimento da necessidade de outras métricas ou mesmo o desenvolvimento de novos KPIs a incorporar no modelo.

A análise de sensibilidade, aos resultados conseguidos, pode sugerir alterações a diversos níveis. Face à não satisfação com o modelo de avaliação construído e/ou com os resultados alcançados, o responsável da manutenção pode ajustar parâmetros intrínsecos para nova avaliação ou mesmo para proceder a nova seleção de indicadores. Esses eventuais ajustes farão sentido, se o desígnio for otimizar ou adequar o modelo à natureza do empreendimento, dos sistemas e equipamentos, do negócio da empresa ou da própria “política” da manutenção. Alterações ao modelo de avaliação construído que careçam de objetividade válida para a medição real do desempenho da gestão da manutenção, não proporcionarão entendimento nem um controlo eficaz, muito menos a identificação do processo de melhoria. Porém, a metodologia proposta permite ao responsável da manutenção, o decisor, influenciar a sua avaliação, de acordo com as suas preferências e conhecimentos no âmbito da sua experiência.

Na presença de melhorias significativas de desempenho da manutenção, o responsável da manutenção pode ambicionar o estabelecimento de novos objetivos, a adequação dos já definidos e/ou delinear correspondentes estratégias. Por outro lado, a análise dos resultados dos indicadores pode auxiliar a gestão da manutenção na alteração ou definição de novos objetivos e metas a alcançar, independentemente se a evolução do desempenho se manifeste crescente ou

decrecente. A inclusão de indicadores influentes no modelo pode auxiliar na tomada de decisão e no planeamento de estratégias e ações de manutenção.

A estrutura conceitual da metodologia proposta é apresentada na Figura 6.2.

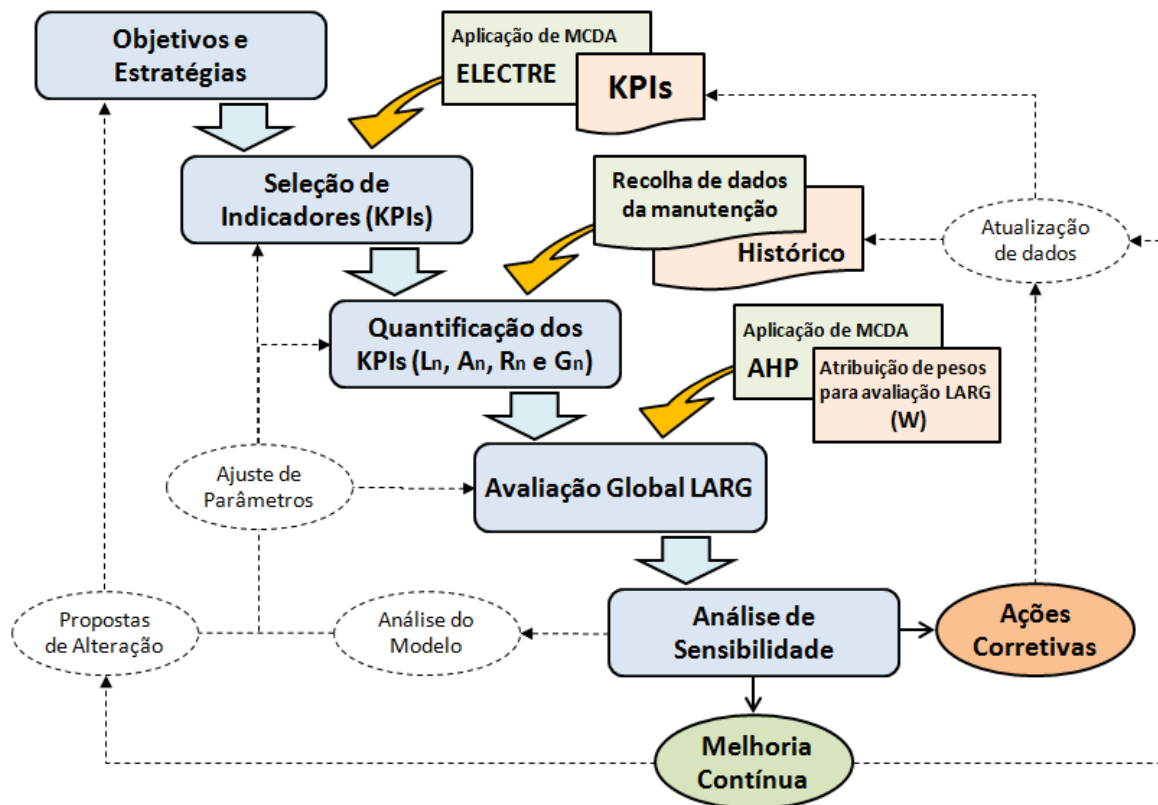


Figura 6.2 – Estrutura conceitual da metodologia proposta

A Figura 6.2 é o modelo geral da metodologia que se propõe para tornar possível a avaliação da manutenção LARG. Nos números seguintes serão explicadas as várias etapas da metodologia e todos os procedimentos metodológicos necessários para a sua implementação e consequentemente, para a continuidade da sua aplicação numa perspetiva de melhoria contínua.

Julga-se que a implementação desta metodologia, inovadora no que concerne à integração de várias ferramentas de análise para apoio à gestão da manutenção em edifícios, possibilitará às organizações otimizar a gestão dos ativos com melhor desempenho, a um menor custo, com uma gestão técnica e operacional ágil, correndo menores riscos, resiliente a adversidades e, sobretudo, com responsabilidade ambiental.

6.3.1. Objetivos e estratégias da manutenção

Para se poder afirmar que o processo de manutenção é realmente eficiente, deve ser possível comparar os seus desempenhos reais e conseguidos com os desempenhos esperados. Para tal, os objetivos da manutenção devem ser quantificados para que possam ser mensuráveis.

O desempenho da manutenção pode ser avaliado por indicadores apropriados para medir os resultados reais e esperados (NP EN 15341). Esses resultados devem ser comparados com os desempenhos estabelecidos como objetivos a atingir.

Consta na norma NP EN 15341 que para selecionar indicadores relevantes de desempenho, o primeiro passo é definir os objetivos a alcançar. Uma análise prévia pode ajudar a identificar aspectos fundamentais da manutenção e parâmetros de desempenho para definição de objetivos. Com os objetivos definidos e os parâmetros identificados, o passo seguinte será o de encontrar os indicadores relevantes e que permitam medir esses parâmetros. A referida norma justifica que um indicador é relevante quando o seu resultado ou a sua evolução está diretamente relacionado com o parâmetro de desempenho a ser medido. Querendo isto dizer que, os dados que constituem um indicador devem estar relacionados com, pelo menos, um objetivo definido. Um indicador pode observar mais do que um objetivo dentro da categoria ou aspecto em avaliação.

Parida e Kumar (2009) referem que o processo de manutenção começa com a definição de objetivos e o estabelecimento de estratégias. Pacaiova *et al.* (2013) refere que para um controlo eficaz e posterior identificação do processo de melhoria é necessário um sistema eficaz de medição de objetivos.

Os objetivos da manutenção devem ser definidos pela gestão de topo, livres de ambiguidades e que garantam os objetivos gerais e necessários do negócio.

6.3.2. Seleção de indicadores

Para a seleção dos indicadores chave de desempenho (KPIs) da gestão da manutenção é proposta uma metodologia com base em métodos MCDA. Desta forma, são propostos dois métodos da família ELECTRE para a ordenação das alternativas, ou seja, dos KPIs mais significantes e relevantes no processo de decisão, para uma estrutura de medição do desempenho de gestão da manutenção.

6.3.2.1. Aplicação dos modelos MCDA

Os métodos propostos para esta abordagem são o ELECTRE I e o ELECTRE III. Com a aplicação da metodologia pretende-se a ordenação descendente de KPIs, do “melhor” para o “pior”, que permita a seleção daqueles que melhor revelem ser aptos para avaliar o desempenho da gestão da manutenção no âmbito de cada um dos paradigmas LARG.

Para a aplicação da metodologia proposta, o decisor deverá optar por um dos métodos, embora possa inicialmente testar e analisar a sua preferência, e escolher o método que melhor se adapta ao seu processo de decisão, aos seus conhecimentos sobre as matérias de apoio multicritério à decisão ou ao rigor que deseja imputar no processo de decisão. O decisor pode, porventura, comparar os resultados fornecidos por ambos os métodos, contudo, essa conduta pode trazer

alguma perplexidade para a tomada de decisão final. A metodologia proposta pretende auxiliar na decisão e não provocar a hesitação do decisor.

Os métodos ELECTRE são baseados no conceito da prevalência pela comparação de pares de alternativas através de critérios apropriados. Estes métodos determinam índices de concordância e de discordância pela comparação entre pares de alternativas, que podem ser vistos como a medição da satisfação e o desagrado que o decisor sente na escolha de uma alternativa em relação a outra. A utilização desta metodologia diminui o nível de subjetividade com que o decisor reflete as suas preferências.

No contexto do apoio multicritério à decisão, a problemática de ordenação (*ranking*) de alternativas é significativamente diferente de escolha (*choosing*) ou de classificação (*sorting*) e, portanto, requiere o uso de métodos específicos. O ELECTRE I é um método simples, concebido para a problemática de escolha, contudo, os seus resultados podem ser trabalhados para a obtenção da ordenação das alternativas consideradas. Nesse sentido, é proposta uma análise complementar aos resultados do método ELECTRE I original, através do cálculo dos valores de concordância e discordância líquidos. Estes procedimentos, utilizados em sequência, tornam possível a ordenação para seleção dos KPIs mais relevantes para a manutenção após a sua avaliação pelo decisor. O método ELECTRE III foi concebido para a problemática de ordenação, porém, é um método mais complexo e exige do decisor mais informação de preferência. Ambos os métodos são propostos para auxiliar na resolução ambígua da seleção de KPIs, a qual está associada a avaliações por julgamentos segundo critérios, eventualmente, subjetivos.

Na metodologia desenvolvida, que aqui se apresenta, podem ser utilizados ambos os métodos, pois podem fornecer resultados idênticos, embora com algumas variações na ordenação. Para o cálculo computacional pode ser utilizado *software* com a implementação dos procedimentos metodológicos dos métodos. Para o uso do método ELECTRE I foi desenvolvido um *software* na linguagem VBA (Gonçalves *et al.*, 2014b), cujo código se encontra no Anexo IV. Para o uso do método ELECTRE III propõe-se a utilização do *software* ELECTRE III-IV (Dias *et al.*, 2006).

Ao utilizar os métodos da família ELECTRE, o decisor é questionado quanto a coeficientes de importância dos critérios para a avaliação das alternativas. Isto é, o decisor terá que atribuir valores numéricos aos pesos dos critérios considerados para a avaliação dos KPIs, de acordo com a sua preferência. Para a atribuição desses pesos é proposta a utilização do “procedimento de Simos revisto”, através do *software* SRF (Figueira e Roy, 2002). Contudo, os pesos podem ser atribuídos diretamente pelo decisor, caso se sinta capaz de se expressar quanto à importância de cada critério no processo de decisão.

Num caso de estudo apresentado em Gonçalves *et al.* (2014b), o *software* SRF é utilizado para gerar valores apropriados para os pesos dos critérios a integrarem a avaliação de KPIs e posterior ordenação pelo método ELECTRE. O decisor seguiu o “procedimento de Simos revisto” e os dados requeridos, relativos às suas preferências, foram inseridos mediante um questionário do próprio *software*. Esta técnica permite agir de forma indireta para a determinação da importância de cada critério, porém, de acordo com as suas preferências.

Os procedimentos metodológicos e as ferramentas informáticas aconselháveis para trabalhar com estes métodos MCDA são apresentados no Capítulo 5.

Os procedimentos da metodologia são apresentados nas duas figuras seguintes de forma a melhor elucidar sobre os passos necessários para a seleção de indicadores com evidência para a manutenção numa organização. A Figura 6.3 expõe os procedimentos para a utilização do método ELECTRE I no processo de decisão e a Figura 6.4 expõe os procedimentos adaptados para a utilização do método ELECTRE III. Cada uma das figuras tem a intenção de ser um guia, segundo uma estrutura hierárquica, na condução da metodologia.

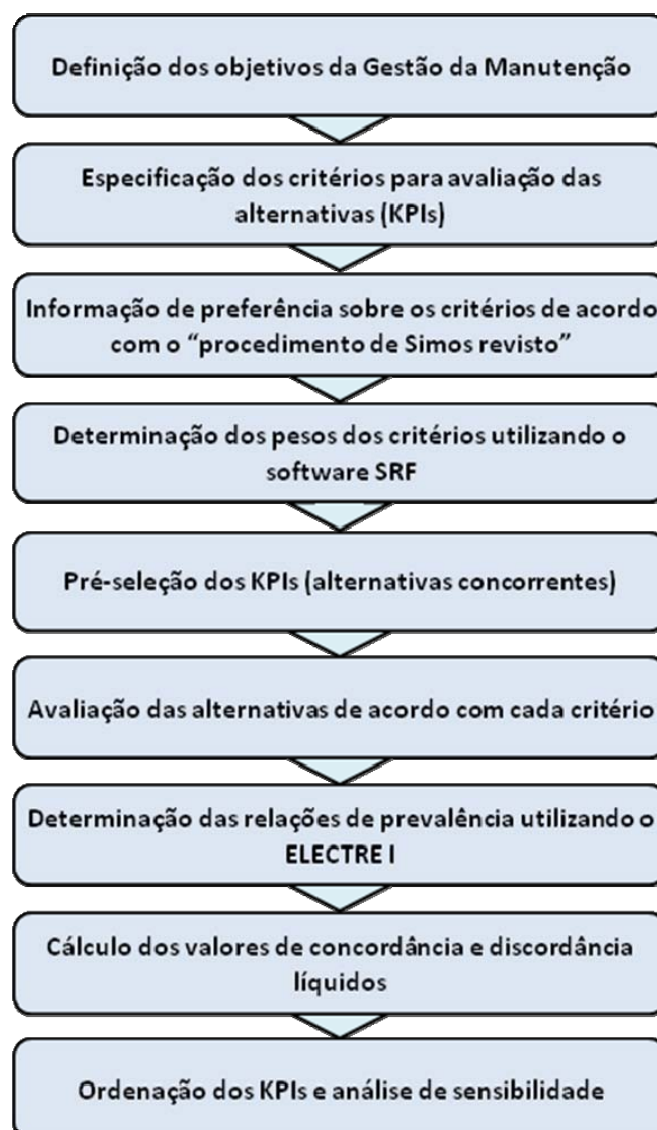


Figura 6.3 – Metodologia para seleção de indicadores (KPIs) através do método ELECTRE I

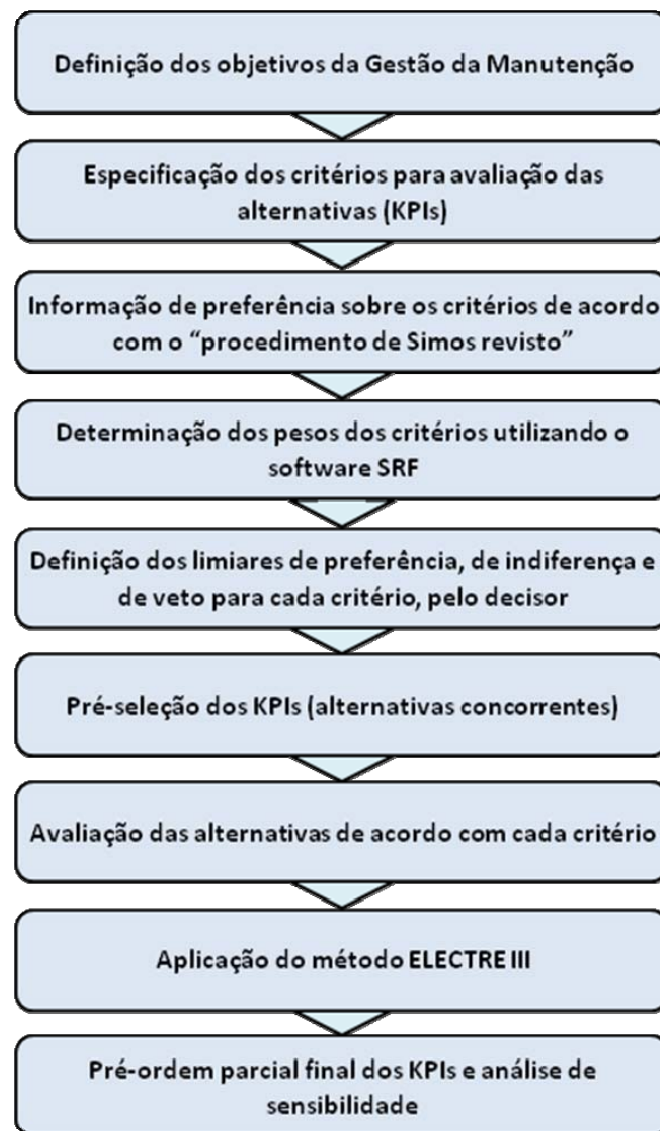


Figura 6.4 – Metodologia para seleção de indicadores (KPIs) através do método ELECTRE III

6.3.2.2. Definição dos critérios de avaliação

Para a seleção dos indicadores relevantes na medição de um aspeto particular da gestão da manutenção, é necessário definir um conjunto de critérios de avaliação, de acordo com os objetivos pré-definidos a serem alcançados pelo departamento de manutenção. Cada critério deve ser definido para caracterizar e comparar as potenciais alternativas de acordo com um ponto de vista considerado (Roy *et al.*, 2014). A especificação dos critérios para avaliação das alternativas (KPIs) deve contemplar os aspetos essenciais de seleção, segundo os quais o decisor pode expressar, do seu ponto de vista, a importância que atribui aos KPIs considerados no processo de decisão. A especificação de cada critério deve clarificar devidamente em que sentido o decisor analisará cada alternativa. Roy *et al.* (2014) concretizam que a definição de um critério é construir e escolher uma instrução operacional, capaz de associar com qualquer alternativa um

desempenho, considerado adequado para comparar qualquer par ordenado de alternativas a partir de um ponto de vista.

É bastante importante a construção de um conjunto de critérios coerente, uma vez que será o instrumento de comunicação entre os intervenientes no processo de decisão. Na especificação dos critérios torna-se também importante clarificar procedimentos, condições aplicáveis à realidade, aspetos organizacionais, competências, recomendações, entre outros, com o objetivo de encontrar robustez nos resultados da metodologia do processo de decisão, os quais se pretendem implementar.

O ponto de partida para a construção de um modelo multicritério para a seleção de indicadores de desempenho da gestão da manutenção é, portanto, definir concretamente os objetivos que se pretendem atingir. Conhecendo esses objetivos, o decisor terá um melhor entendimento para estabelecer um conjunto de critérios mensuráveis na avaliação das alternativas identificadas como possíveis hipóteses a integrar a medição de um aspeto da gestão da manutenção.

Roy *et al.* (2014) referem que a definição de cada critério compreende frequentemente alguma arbitrariedade e a informação para a construção dos critérios é também, muitas vezes, imprecisa e incerta. A definição dos critérios e os seus valores de discriminação intrínseca para o processo de decisão levam a fazer algumas escolhas, as quais compreendem uma parte de arbitrariedade e subjetividade do decisor. Estes autores argumentam ainda que fornecer definições e parâmetros precisos para determinados critérios é uma tarefa difícil e por vezes impossível. Nesses casos, os critérios podem ser construídos a partir de dados obtidos após pesquisa, nomeadamente através da aplicação de inquéritos, contudo, assimilando inevitavelmente uma margem de imprecisão.

Dependendo dos casos ou circunstâncias, Roy *et al.* (2014) acrescentam que, as instruções operacionais podem ser obtidas com base em pareceres de peritos, questionários, técnicas de previsão, ferramentas de medição, expressões matemáticas, ou mesmo algoritmos mais complexos utilizando vários dados.

Em suma, o decisor deverá adotar critérios, cuja natureza seja suficientemente desprovida de ambiguidade, subjetividade e arbitrariedade o quanto possível, e de modo a que a informação de preferência seja fiável.

A partir da investigação realizada, que compreendeu revisão da literatura, foram identificados critérios importantes para integrar o modelo de decisão proposto. O resultado desta pesquisa permitiu identificar critérios que mostram evidência na avaliação dos indicadores de desempenho da gestão da manutenção quando incorporados na metodologia proposta de apoio multicritério à decisão.

Foram ainda consultados especialistas na área da gestão da manutenção para discutir e validar os critérios identificados. Em análise, confrontaram-se distintos pontos de vista e discutiram-se as principais conceções para a geração dos critérios adequados para julgar a importância dos KPIs na avaliação do desempenho da gestão da manutenção LARG. Como resultado dessa análise foi

encontrado um conjunto de cinco critérios de decisão, considerados importantes para avaliação dos KPIs, ou seja, das alternativas. As descrições desses critérios são:

C₁ : **Qual a relação do KPI com os diferentes Paradigmas (*Lean, Agile, Resilient e Green*):** para avaliar a forma como o KPI mede quantitativamente os aspetos de cada categoria LARG dos serviços de manutenção; como o KPI permite medir e comparar o desempenho da manutenção em cada paradigma, identificando os pontos fortes e fracos dos serviços de manutenção.

O decisor expressa o quanto um KPI é importante, ou permite medir aspetos relacionados com o conceito do paradigma ***Lean, Agile, Resilient*** ou ***Green***, consoante a categoria em que está a ser avaliado. Neste critério o decisor pode, por exemplo, avaliar na categoria:

- ***Lean***: a importância do KPI para medir a operacionalidade da manutenção; os tempos consumidos pelos serviços da manutenção; a disponibilidade e fiabilidade proporcionada pela manutenção; o desempenho na eliminação de falhas, avarias e acidentes; o relacionamento entre custos; o controlo da qualidade que a manutenção garante e proporciona ao cliente; a entrega da manutenção para a melhoria contínua.
- ***Agile***: a importância do KPI para medir a agilidade da manutenção na resposta às ocorrências ou às alterações dos sistemas; o relacionamento do tempo e eficiência das atuações; o planeamento do trabalho; a capacidade de resposta e as competências detidas; a flexibilidade e multidisciplinaridade do pessoal da manutenção; a utilização das ferramentas informáticas da manutenção.
- ***Resilient***: a importância do KPI para medir a capacidade de resposta a acidentes e situações disruptivas; a resiliência em ações corretivas urgentes; as competências para lidar com distintas adversidades; a prevenção, treino e meios para trabalho em segurança; o risco intrínseco nas atividades da manutenção; a sobrecarga dos serviços de manutenção; a satisfação do pessoal da manutenção; a integração da manutenção por computador.
- ***Green***: a importância do KPI para medir a eficiência energética; a agressividade com o ambiente nas intervenções; a integração ambiental das práticas da manutenção; os resíduos produzidos pela manutenção; a eliminação e reciclagem de resíduos; os riscos e danos ambientais; o relacionamento de incidentes e acidentes ambientais; as ações de prevenção e os meios de proteção ambiental; as sanções e penalidades ambientais;

C₂ : Objetivos específicos da Gestão da Manutenção: para avaliar a forma como o KPI mede o estado da manutenção no cumprimento dos objetivos estabelecidos, tendo em consideração:

- A **Adequabilidade** aos objetivos, bem como a **Viabilidade, Exequibilidade e Mensurabilidade**.
- A **Adaptabilidade** a eventuais alterações da envolvente externa e, se o seu **Compromisso** está em consonância com a **Cultura** da Empresa.

O decisor avalia a importância do KPI para medir o desempenho da manutenção no cumprimento dos objetivos definidos em conformidade com os objetivos da empresa.

C₃ : Influência do KPI na Estratégia Global da Manutenção: para avaliar como o resultado do KPI pode:

- Influenciar a tomada de decisão quanto à estratégia presente e futura da manutenção;
- Ajudar a orientar as decisões futuras, para acompanhar o progresso e as mudanças ao longo do tempo;
- Fornecer valores que permitam adaptar e aplicar as estratégias mais adequadas.

O decisor avalia a importância do KPI quanto à influência do seu resultado no controlo estratégico da manutenção num processo de melhoria contínua.

C₄ : Qual o predomínio do KPI na Gestão dos Ativos da Empresa: para avaliar a forma como o KPI pode:

- Apoiar a estratégia global da empresa e ser uma base de suporte fundamental para o apoio à gestão de topo;
- Ajudar à **Gestão Global dos Ativos Físicos** numa perspetiva que permita envolver a manutenção na cultura de **Gestão da Empresa**.

O decisor avalia a importância do KPI para medir o desempenho da manutenção nos ativos físicos alinhados com as necessidades do negócio e que permitem manter a empresa competitiva. O decisor deve ter em consideração a importância do KPI para fornecer à gestão de topo da empresa a perceção organizacional da manutenção, permitindo comparar os resultados expectáveis.

C₅: Partilha de resultados: para avaliar a forma como os resultados do KPI têm interesse:

- Para serem compartilhados com os outros setores da empresa e assegurar, a todos os colaboradores, uma garantia de qualidade na saúde, segurança e no ambiente de trabalho;
- Para informar e, de alguma forma, motivar os funcionários a colaborar com as tarefas da manutenção e percecioná-los dos respetivos indicadores;
- Para, de uma forma indireta, aferir a satisfação dos clientes que possam estar relacionados com indicadores;
- Para fornecer informações, para estar disponível para o cliente como forma de valorizar os serviços da empresa e informar as condições em que é feito;
- Para o cumprimento face à legislação, aos requisitos normativos ou processos de certificação da empresa e, por essa razão, é importante avaliá-lo e compará-lo com a medição de outros indicadores.

O decisor avalia a importância do KPI relativamente ao seu interesse comum entre a manutenção e outros setores da empresa, colaboradores, clientes e/ou parceiros no negócio, em partilhar os resultados medidos pelo KPI, relativos a aspetos da manutenção.

Note-se que, se os resultados dos KPIs são partilhados, então essa informação deverá dignificar a “imagem” da gestão da manutenção contribuindo para os objetivos globais da organização. Por exemplo, a organização tem interesse em ter colaboradores motivados e informados quanto ao desempenho do setor da manutenção, clientes satisfeitos e seguros do serviço eficiente e de qualidade que a organização fornece, parceiros do negócio cientes do empenho da organização para garantir o sucesso no mercado, certificação de processos de obrigatoriedade legal ou para alcanço de vantagem competitiva, entre outros.

Os critérios considerados importantes para o modelo de decisão, apresentados e definidos acima, são todos de maximizar. O desempenho de cada alternativa será tanto melhor quanto maior for a sua avaliação perante cada critério, ou seja, corresponde à direção em que as preferências aumentam.

Admite-se que outros critérios possam ser identificados e que consubstanciem outros pontos de vista. A metodologia proposta prevê a possibilidade de construção de distintos critérios, o acréscimo de novos ou a não inclusão daqueles que, segundo a preferência do tomador de decisão, não são claros ou não demonstram ser uma instrução capaz para a devida avaliação. O tomador de decisão pode construir um conjunto de critérios, com o qual possa melhor refletir os seus pontos de vista, avaliar de acordo com as suas preferências e encontrar maior robustez nos resultados para seleção das alternativas.

6.3.2.3. Pesos e limiares dos critérios

Posteriormente à definição dos critérios de avaliação dos KPIs, e tal como já referido no número anterior, o decisor terá que atribuir pesos a esses critérios. Ou seja, atribuir valores numéricos como coeficientes de expressão quanto à importância relativa de cada critério no processo de decisão, de acordo com a sua preferência. Para extrair essa informação de preferência de forma indireta, pode recorrer à utilização do *software* SRF, cujo algoritmo é uma implementação do “procedimento de Simos revisto”. Os procedimentos deste método de auxílio na determinação de pesos aos critérios estão descritos no número 5.2.3 do Capítulo 5.

Os pesos dos critérios são parte da informação requerida para o processo de decisão através do método ELECTRE. No caso da aplicação do método ELECTRE III, para a ordenação das alternativas, será necessária a definição dos limiares de preferência, de indiferença e de veto para cada critério. Estes são limiares (pseudo-critérios) para uma melhor discriminação das avaliações dos KPIs. Este é um dos procedimentos que diferencia a aplicação do método ELECTRE I do método ELECTRE III, o que pode ser elucidado pela análise das Figuras 6.3 e 6.4. A explicação dos limiares de discriminação pode ser encontrada no número 5.2.1.2. do Capítulo 5 deste trabalho, porém, apresentam-se aqui algumas elucidações para correta atribuição de valores:

- O método ELECTRE III permite o uso dos limiares em todos ou apenas em alguns critérios;
- A percepção dos limiares pode variar consoante a escala dos desempenhos ou avaliação das alternativas nos diferentes critérios;
- É possível calcular os limiares relativamente ao “pior” desempenho (limiares diretos) ou ao “melhor” desempenho (limiares indiretos) entre duas alternativas a comparar. Por exemplo, para um determinado critério, com um qualquer limiar definido para 20%, duas alternativas com desempenhos de 80 e 100 respetivamente, tem-se pelo modo direto um limiar igual a 16 e segundo o modo indireto ou inverso um limiar igual a 20. O *software* ELECTRE III converte automaticamente os limiares indiretos em limiares diretos;
- O limiar de indiferença corresponde à maior diferença admissível no desempenho entre duas alternativas, compatível com uma situação de indiferença. O decisor define um valor, o qual limita a ambiguidade de não prevalência entre duas alternativas;
- O valor do limiar de indiferença estabelece que, para determinado critério, tem-se a possibilidade de prevalência de uma alternativa em relação a outra, caso a diferença entre os seus desempenhos supere esse valor;
- O limiar de preferência corresponde à menor diferença admissível no desempenho entre duas alternativas, a partir da qual o decisor define a sua preferência estrita pela alternativa que apresenta o melhor desempenho;
- O limiar de veto representa a mais pequena diferença de desempenho entre duas alternativas, a partir da qual o tomador de decisão considera que não é possível suportar a

ideia que a “pior” de duas alternativas em consideração perante um critério, possa ser considerada tão boa como a “melhor”, ainda que o seu desempenho em todos os outros critérios seja melhor;

- O limiar de veto é completamente diferente dos outros limiares, uma vez que, quando a diferença de desempenho entre duas alternativas ultrapassa esse limiar é rejeitada a hipótese de prevalência entre duas alternativas;
- Aos limiares de veto podem não ser atribuídos valores, para alguns ou até para todos os critérios. Estas situações ocorrem sempre que para esses critérios, nenhuma eventual variabilidade no desempenho entre alternativas inviabiliza uma em detrimento de outra. Deste modo todas as alternativas podem satisfazer a afirmação de uma qualquer alternativa prevalecer a outra;
- O *software* ELECTRE III permite a definição dos diferentes limiares para cada critério através de uma função afim aplicada aos desempenhos das alternativas. Para um determinado critério j , uma alternativa a , com um desempenho $g_j(a)$, os limiares de indiferença, de preferência e de veto são calculados pela função $\alpha_j \times g_j(a) + \beta_j$. O decisor tem a tarefa de especificar os valores para os coeficientes α e β , para cada critério e para cada limiar. Quando o coeficiente α é diferente de zero, o respetivo limiar varia em função dos desempenhos das alternativas, ou seja é proporcional a esses desempenhos. Em Dias *et al.* (2006) são expostas as seguintes considerações:
 - Para definir limiares proporcionais ao desempenho das alternativas o coeficiente α terá de ser diferente de zero;
 - Por uma questão de consistência, é aconselhado que o coeficiente α deverá ser maior ou igual a “-1” no caso de critérios direcionados para a maximização e com limiares diretos;
 - Para a definição de limiares constantes em toda a escala de desempenho, o coeficiente α deve ser igualado a zero e a β atribuir-se-á um valor constante, definido pelo tomador de decisão;
 - Na presença de critérios verdadeiros, ou sempre que os limiares de indiferença e de preferência não sejam relevantes, os coeficientes α e β devem tomar o valor zero, isto é, abdica-se dos pseudo-critérios;
 - São ainda mencionados os seguintes principais constrangimentos na definição dos limiares através dos coeficientes α e β :
 - Nenhum limiar poderá ser negativo, ou seja, o número extraído da função $\alpha_j \times g_j(a) + \beta_j$ deve ser positivo para todo o desempenho $g_j(a)$;

- O limiar de indiferença deve ser menor ou igual que o limiar de preferência, e este por sua vez, deve ser menor ou igual que o limiar de veto, se existir.

6.3.2.4. Pré-seleção de KPIs

Os responsáveis da manutenção (decisores) necessitarão de pré-selecionar um conjunto de KPIs, na extensão contextual de cada paradigma LARG, como possíveis alternativas a serem classificados como relevantes através dos métodos MCDA.

A manutenção deve selecionar indicadores facilmente mensuráveis e que englobem os objetivos da manutenção. O conjunto de indicadores eleitos pela gestão devem exprimir o que se pretende avaliar e que interessa caracterizar para aferir o seu desempenho. Contudo, devem interpretar os objetivos da empresa e as estratégias traçadas em função da natureza do negócio.

O interesse é a seleção de indicadores relevantes que permitam a avaliação do desempenho da gestão da manutenção em edifícios no âmbito LARG. Face à metodologia proposta será necessário realizar a pré-seleção dos indicadores (KPIs) com foco nos aspetos da manutenção a medir. Trata-se portanto de agrupar os KPIs em 4 distintos conjuntos (*Lean, Agile, Resilient e Green*). Os conjuntos de KPIs identificados como possíveis hipóteses a integrar a medição de cada aspeto da gestão da manutenção LARG, são os conjuntos de alternativas a serem avaliadas através dos critérios, pelo tomador de decisão.

O tomador de decisão (gestor ou gestores da manutenção) deve pré-selecionar os 4 conjuntos de KPIs, todos eles assumidos como possíveis e adequadas alternativas a serem incluídas na avaliação do desempenho da manutenção e com interesse para a categoria LARG em que concorrem.

Na pré-seleção de indicadores devem ser eliminados todos aqueles que não são passíveis de cálculo ou que apresentam dificuldade na sua utilização, ou ainda, cuja aplicabilidade apresenta suscetibilidade quanto aos dados que utiliza.

São portanto considerações importantes antes do cálculo e/ou incorporação de indicadores:

- A existência de dados no histórico, disponibilidade e/ou possibilidade de os recolher para o cálculo do indicador;
- A validade, precisão e despiste de possível violação de dados que incorporam o indicador;
- A dificuldade na obtenção de dados, a sua insuficiência ou incorreções que possam contribuir negativamente para uma medição correta;
- A complexidade da medição, do cálculo e da análise de dados que incorporam o indicador;
- A frequência adequada de recolha de dados face à periodicidade requerida para a medição de um determinado indicador;
- A compreensão e facilidade de interpretação do indicador para perceção da realidade;

- Se o indicador fornece uma medição orientada com detalhe e particulariza um aspeto essencial;
- Se identifica o momento ou o período correto da medição;
- A estabilidade, coerência e necessidade do indicador ao longo do tempo;
- O custo da medição do indicador versus benefício da informação que avalia;
- Se a gestão da manutenção se responsabiliza pelos resultados que o indicador possa vir a fornecer;
- A existência de informação para comparação com os resultados obtidos pelo indicador, se aplicável.

6.3.2.5. Escala de avaliação das alternativas (KPIs)

A caracterização de uma alternativa representa geralmente o seu desempenho de acordo com um ponto de vista considerado (Roy *et al.*, 2014), podendo desta forma ser estabelecido através da avaliação por parte do próprio decisor.

Na utilização dos métodos ELECTRE, a natureza dos critérios pode ser heterogénea e a avaliação dos desempenhos das alternativas pode ser feita por diferentes escalas e unidades. Figueira *et al.*, (2013) salientam que os procedimentos do ELECTRE podem ser executados independentemente da natureza da escala dos desempenhos das alternativas sobre os critérios, inclusive, com os desempenhos originais das alternativas. Com a metodologia desenvolvida, o decisor pode espelhar a sua preferência na avaliação das alternativas podendo atribuir, no seu entendimento para cada critério, um nível de importância a cada alternativa.

Com o propósito de avaliar as alternativas torna-se necessário associar uma escala a cada critério ou uma escala comum ao conjunto de critérios considerados. Para Roy *et al.* (2014), os elementos de uma escala de avaliação são chamados de níveis de escala ou simplesmente níveis. Estes autores mencionam que a escala pode ser definida por uma sequência de níveis ordenados (escala discreta) ou por intervalos de números reais (escala contínua). Na prática, a escala nunca é realmente contínua, uma vez que apenas são utilizados determinados números racionais do intervalo para definir um desempenho. Os níveis de uma escala contínua são, necessariamente, caracterizados por valores numéricos, enquanto os diferentes níveis de uma escala discreta, também podem ser caracterizados por instruções verbais (Roy *et al.*, 2014).

Nos casos em que se opta pela utilização de uma escala discreta com instruções verbais, cada nível pode ser caracterizado (por associação) também por um valor numérico, nomeadamente atribuindo-se o número correspondente à sua posição ou ordem face ao conjunto totalmente ordenado. Assim, o valor “1” pode ser atribuído ao nível mais baixo, enquanto que ao nível mais elevado da escala, pode atribuir-se-lhe o valor correspondente ao número de níveis da respetiva escala.

A avaliação das alternativas, face aos critérios considerados, procura representar o universo mental do decisor, recorrendo a uma medição representativa da sua opinião. Para tal, é proposta uma escala “*Likert*” de avaliação, com a qual o decisor especifica o seu nível de concordância (preferência) com cada alternativa face aos distintos critérios. Uma escala “*Likert*” permite expressar níveis de opinião, de ponto de vista, de preferência, de satisfação ou de importância. A escala “*Likert*” proposta compreende o intervalo dos números inteiros [1;9], isto é, nove níveis de importância para resposta e segue o formato apresentado na Tabela 6.1. Nesta tabela, a intensidade da importância corresponde ao nível da escala e a definição corresponde às instruções verbais dessa escala.

Tabela 6.1 – Escala “*Likert*” para avaliação das alternativas (KPIs)

Intensidade da Importância	Definição
1	Muito pouco importante
3	Pouco importante
5	Importante
7	Muito importante
9	Absolutamente importante
2, 4, 6 e 8	Valores intermédios

Para a definição da escala de avaliação seguiram-se os princípios apresentados por Likert (1932) e Miller (1954). Likert (1932) indica que as escalas para captar a perceção devem apresentar opções simétricas e Miller (1954) complementa essas orientações considerando que, além de simetria, as escalas devem disponibilizar 5 ou 9 opções de resposta. Atualmente, várias investigações empíricas com recurso a questionário utilizam escalas “*Likert*”, como encontrado por exemplo em Sánchez e Pérez (2001) e Muchiri *et al.* (2010). Na literatura surgem também várias aplicações MCDA com recurso a escalas “*Likert*” para avaliação das alternativas, como por exemplo em Dulmin e Mininno (2003), Ermatita *et al.* (2011), Hatami-Marbini e Tavana (2011) e Zandi e Roghanian, (2013).

6.3.2.6. Seleção das alternativas (KPIs)

Na norma NP EN 15341, é referido que os indicadores estão relacionados com objetivos e portanto os dados que constituem o indicador devem estar relacionados com os objetivos definidos. O responsável pela gestão da manutenção deve selecionar um conjunto de KPIs para medir de forma consistente todos os objetivos da manutenção, fazendo a ligação entre as atividades do negócio e o processo de planeamento estratégico. Será necessário garantir o alinhamento com fatores críticos de sucesso da organização. Contudo, deve medir-se unicamente o que é importante. A medição do desempenho deve basear-se em poucos indicadores, porém vitais e que abranjam os principais aspetos dos objetivos da manutenção na organização.

O conjunto de KPIs relevantes para a avaliação de desempenho da manutenção em cada categoria LARG será selecionado com base nos resultados obtidos da aplicação dos modelos MCDA (ELECTRE). O tomador de decisão (gestor ou gestores da manutenção) deve analisar esses resultados, KPIs ordenados do “melhor” para o “pior” de acordo com a sua preferência, e selecionar aqueles que na realidade melhor preenchem os requisitos na medição do desempenho, dentro de cada categoria LARG.

As alternativas ordenadas pelo método ELECTRE refletem apenas a preferência demonstrada, mediante uma avaliação através de múltiplos critérios, ou seja, vários pontos de vista do decisor. A ordenação dos KPIs pré-selecionados e avaliados pelo decisor, deve ser interpretada como uma ordem decrescente da sua preferência para apoio à sua decisão final, na incorporação daqueles que melhor permitem perceber e avaliar o desempenho da manutenção. Este trabalho deve ser realizado para as 4 categorias LARG.

Os dois métodos da família ELECTRE, propostos para a ordenação dos KPIs, têm procedimentos metodológicos diferentes, pelo que, os seus resultados compreendem análises com alguma distinção.

ELECTRE I

Os resultados conseguidos pela aplicação da metodologia através do método ELECTRE I são ordenações de KPIs, com base nos resultados de concordância líquida. O modelo proposto coloca o conjunto inicial de alternativas por ordem decrescente do valor de concordância líquida alcançado. O decisor pode também contrastar essa ordenação com a posição que os distintos KPIs alcançaram, contabilizando o valor de discordância líquida. Isto significa que, o decisor pode fazer uma análise complementar à concordância na preferência de um determinado KPI, através da percepção na sua ordem de insatisfação (discordância).

Com os resultados do método ELECTRE I, o decisor necessita de um esforço extra para estabelecer a sua compreensão na prevalência entre as alternativas. Contudo, este é um método simples que não exige demasiada informação de preferência do decisor. Gonçalves *et al.* (2014b) referem que, a partir da análise dos resultados deste modelo de ordenação, confrontando a concordância versus a discordância, é possível selecionar um conjunto de KPIs relevantes para a manutenção. O modelo permite comparar o interesse dos KPIs, para medir o desempenho da manutenção, através da concordância e também pela verificação da discordância demonstrada pelos julgamentos de preferências do gestor da manutenção. Na aplicação desta metodologia a um caso de estudo em Gonçalves *et al.* (2014b), os autores apontam a facilidade na aplicação dos procedimentos e afirmam ter conseguido resultados consistentes, o que permitiu tornar o processo de decisão mais explícito, racional e eficiente.

ELECTRE III

Por seu lado, o resultado proporcionado pela aplicação do método ELECTRE III é uma ordem decrescente (da melhor para a pior) do conjunto de alternativas propostas que já reflete a preferência do decisor após um processo complexo na combinação de índices de concordância e discordância. A aplicação deste método torna-se mais exigente para o tomador de decisão, caso pretenda despistar a incerteza do processo de decisão, atribuindo os limiares de preferência, de indiferença e de veto. Este modelo permite explorar melhor a preferência do decisor e atribuir mais credibilidade nas relações de prevalência entre as alternativas, e por consequência, ao processo de decisão.

As opções de resultados possíveis através do *software* ELECTRE III são descritas em Dias *et al* (2006). Com interesse para a metodologia proposta destacam-se dois principais tipos de resultados:

- **Ordenação parcial final:** fornece uma ordenação decrescente, consequente da comparação entre alternativas preordenadas em duas destilações (descendente e ascendente) e identifica as possíveis incomparabilidades;
- **Ordenação mediana:** fornece uma ordenação descendente das alternativas, a qual não tem em consideração as incomparabilidades.

O decisor pode através da análise dos dois tipos de resultados fornecidos pelo *software* ELECTRE III, encontrar as opções para a melhor decisão. Dessa forma, o decisor pode compreender quais os KPIs com interesse diferenciado e aqueles que, agrupados por incomparabilidade, podem apresentar um mesmo nível de preferência.

A aplicação da metodologia através do método ELECTRE III torna-se mais complexa, uma vez que, a obtenção de resultados com preferência discriminativa, exige da parte do decisor a definição de parâmetros que, na maioria dos casos, são difíceis de atribuir. Dessa forma o gestor da manutenção pode não sentir confiança nos resultados, principalmente se não estiver convicto da credibilidade dos parâmetros que atribuiu.

Resultados dos métodos ELECTRE

O número de indicadores a introduzir para medição e avaliação dos distintos aspetos da manutenção dependerá das necessidades, da dimensão, da complexidade, do número de ativos e nível de abrangência da gestão. Sendo que, quanto maior o número de indicadores, maior o número de dados a introduzir e a analisar, o que, por vezes, pode gerar confusão e dificuldades na interpretação de sintomas da manutenção. Os indicadores a selecionar deverão ser aqueles que melhor traduzem o desempenho dos diferentes aspetos em causa. A manutenção pode, porém, fazer uso de outros indicadores sem que contribuam para uma avaliação global, mas que à posteriori da avaliação deem indicações sobre determinada característica ou acontecimento

relevante. Contudo, não é a seleção desses indicadores a finalidade da aplicação da presente metodologia.

Dever-se-á ter presente a ideia de que diferentes indicadores contribuem com diferentes resultados para a valorização de um determinado nível de desempenho. É necessário ressaltar que os indicadores a selecionar deverão ser os mesmos a utilizar nas avaliações consecutivas da gestão da manutenção, para permitir a comparação fiel de desempenhos ao longo de períodos diferentes. Entende-se que possam ser necessários ajustes no conjunto de indicadores, adicionando, retirando ou substituindo aqueles que venham a revelar-se inadequados na avaliação. Nestas eventualidades, perceber-se-á que os resultados de avaliações intermédias não traduzirão valores fidedignos para comparações.

A eventual subjetividade na seleção dos indicadores é, porventura, uma vantagem no modelo de avaliação desenvolvido, uma vez que não existe a intenção de comparar resultados entre diferentes casos, empresas ou equipamentos, mesmo que de características semelhantes. O modelo de avaliação pretende ser um instrumento que auxilia os responsáveis pela gestão da manutenção a tomar decisões corretas, de acordo com as suas preferências e no encalce dos objetivos e estratégias definidas para um caso em concreto. A metodologia de seleção de indicadores proposta gera resultados consequentes das avaliações segundo a preferência dos gestores.

Quanto à repetibilidade da informação contida nos indicadores, os parâmetros, terá que se ter em conta de que forma contribuem para o conhecimento e análise dos fenómenos. A informação pode ser também desprezável sempre que não conduza a uma maior clareza ou dedução da realidade dos factos. Deve-se selecionar o menor número de indicadores possíveis, porém em número suficiente, para se conseguir uma medição rigorosa e abrangente dos aspetos fundamentais do desempenho da manutenção.

Não existe, porém, um número ideal de indicadores a associar à avaliação LARG da manutenção, embora na literatura sejam expostos alguns raciocínios a esse respeito. Há autores que defendem ser entre 4 a 8, o número razoável para um conjunto de indicadores para a medição de um aspeto ou categoria da manutenção.

6.3.3. Quantificação dos indicadores LARG selecionados

Após a seleção dos indicadores relevantes para a gestão da manutenção em cada paradigma LARG, serão necessários os próprios cálculos de modo a proporcionar a avaliação de desempenho. Para se obterem os resultados dos KPIs será portanto essencial a quantificação dos respetivos parâmetros de acordo com as fórmulas de cálculo previamente estudadas e definidas.

A Figura 6.5 pretende elucidar quanto às etapas necessárias para a avaliação global LARG. O modelo evidencia a quantificação, a normalização e a agregação dos indicadores que de forma diferenciada, relativamente aos distintos paradigmas LARG, contribuem para uma avaliação global do desempenho da gestão da manutenção.

Os indicadores de desempenho a incluir em cada um dos paradigmas LARG são os selecionados pelo decisor através dos modelos de apoio multicritério à decisão, nos números anteriores apresentados, e de acordo com a metodologia proposta nesta tese.

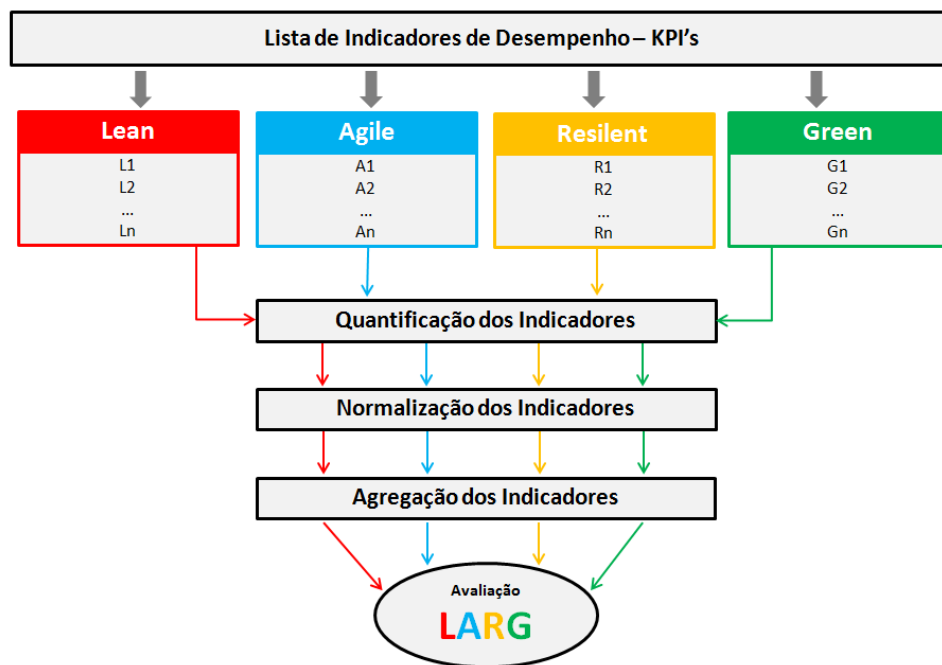


Figura 6.5 – Avaliação global da manutenção LARG

Os resultados extraídos dos indicadores devem ser normalizados para uma escala numérica única para possibilitar a agregação harmonizada das distintas contribuições para um índice global de desempenho da manutenção LARG. A normalização dos indicadores é fundamental, nomeadamente para resolver situações de efeito de escala. A metodologia proposta prevê a normalização dos resultados dos KPIs para uma escala limitada entre 0 e 1.

A fase de agregação dos indicadores subentende a atribuição de ponderações (pesos). Ou seja, o resultado de cada indicador contribuirá proporcionalmente à importância que lhe seja atribuída de forma a proporcionar uma avaliação que expresse um desempenho diferenciado nos distintos aspetos de interesse da manutenção. O peso atribuído a cada indicador reflete a contribuição percentual que esse indicador imputa na avaliação de desempenho da respetiva categoria LARG para a qual foi direcionado.

6.3.4. Pesos para agregação dos indicadores LARG

Os pesos ou ponderações de cada indicador (KPI) para a avaliação de desempenho global LARG podem ser ajustados em função dos aspetos da manutenção que medem, dos objetivos e estratégias do sistema de gestão da manutenção, das características e do serviço do edifício, da

utilização dos espaços, das tecnologias, instalações e dos equipamentos mais pertinentes, das características do negócio, da legislação e normas aplicáveis, entre outros.

Entende-se por agregação dos indicadores, a soma ponderada dos resultados dos indicadores que em cada categoria LARG contribuem para a avaliação do desempenho da gestão da manutenção.

O método AHP é a ferramenta proposta para auxiliar o gestor da manutenção na atribuição de pesos ajustados aos conjuntos de KPIs dentro de cada categoria LARG. O AHP é um método MCDA para a resolução de problemas de ordenação e também bastante utilizado para atribuição de pesos a conjuntos de elementos. Este método pode ser utilizado na determinação de pesos para a agregação dos resultados dos KPIs na avaliação global LARG. Estes pesos podem ser interpretados como taxas de agregação.

O método AHP permite uma avaliação por comparação par a par de elementos, o que auxilia o decisor a refletir e tomar decisões de quantificação das ponderações.

Para a aplicação do método AHP, o gestor da manutenção constrói uma matriz de julgamentos através de comparações entre pares de KPIs. Através do cálculo do vetor de prioridades (AHP), são extraídos os pesos correspondentes à importância que cada elemento atingiu confrontado com os restantes, de acordo com a preferência do decisor.

Admite-se também, para o cálculo dos pesos dos KPIs, a utilização do “procedimento de Simos revisto”, através do *software* SRF. Neste caso, o gestor da manutenção pode recorrer à ordenação dos KPIs selecionados, resultante da aplicação do método ELECTRE, e introduzir essa informação diretamente nos questionários do *software* SRF, pois os KPIs foram ordenados pelo ELECTRE de acordo com informação de preferência do decisor. Quanto à maior ou menor diferença de importância entre os KPIs, o gestor de manutenção terá que manifestar a sua opinião, podendo ainda basear-se na diferença entre os valores líquidos de concordância alcançados pelos próprios KPIs.

Os pesos podem ainda ser atribuídos diretamente pelo gestor da manutenção, caso a sua experiência lhe transmita confiança para se expressar quanto à importância dos KPIs no processo de avaliação de desempenho da manutenção. A soma dos pesos a atribuir terá que, obrigatoriamente, ser a unidade (1).

As mesmas ferramentas e procedimentos podem ser aplicados para a atribuição de pesos às categorias LARG. Estes pesos podem ser interpretados como taxas de agregação dos índices de desempenho da manutenção na extensão de cada paradigma para a avaliação global. Isto é, a avaliação global LARG resultará da soma ponderada dos índices de desempenho da manutenção em cada categoria LARG.

Todos os referidos pesos podem e devem ser ajustados ao longo do tempo em função de eventuais alterações estratégicas e/ou objetivos da manutenção, ou eventualmente devido a apreciações ou avaliações realizadas por responsáveis da manutenção mais experientes. Contudo, os resultados das consequentes avaliações não devem ser comparados com os

resultados de avaliações anteriores, visto os resultados dos indicadores e/ou dos índices das categorias LARG contribuírem em proporcionalidades diferentes.

6.3.5. Normalização dos resultados dos indicadores

Cada indicador possui uma escala quantitativa, representativa do intervalo na grandeza do aspeto da manutenção que se propõe medir. A amplitude dessa escala dependerá do tipo de indicador, da qualidade do fenómeno mensurável e da unidade de medida. Relativamente ao conjunto de valores que as escalas podem tomar, estes podem ser discretos quando pertencentes a um conjunto finito, ou contínuos, quando entre quaisquer dois valores da escala, pode sempre definir-se um outro valor.

O resultado extraído de cada indicador encontra-se numa determinada escala métrica, quantitativa, que pode ser de intervalo ou absoluta (ou de razão). Segundo Guimarães e Cabral (1997), os valores de uma escala de intervalo são números expressos numa escala cuja origem é arbitrária e pode-se atribuir um significado à diferença entre esses números, mas não à razão entre eles. Pelo contrário, uma escala absoluta tem uma origem fixa, onde zero significa nada. A razão entre valores expressos numa escala absoluta passa a ter significado, motivo pela qual também é chamada de escala de razão.

Os indicadores podem ser do tipo rácio, quando estabelecem uma razão entre duas grandezas. Tratando-se de um indicador do tipo rácio, o resultado obtido expressa uma proporção em como um determinado fenómeno (meta) foi alcançado, sendo que a escala é limitada entre 0 e 1. O valor zero não é arbitrário, mas sim absoluto. Trata-se portanto de uma escala absoluta ou de razão, também denominada por escala de rácio.

A quantificação do resultado dos indicadores pode depender de limites inferiores e superiores, independentemente da escala de medida.

Outra diferença entre os resultados dos indicadores prende-se com a polaridade, ou seja, o sentido do cálculo do indicador. Existem indicadores cujo resultado é quanto maior melhor, outros que, pelo contrário, quanto menor melhor.

Para tornar possível a agregação dos valores obtidos pelos indicadores, de modo a obter-se um índice LARG compreendido numa escala de rácio, será necessário harmonizar as escalas de todos os indicadores.

A necessidade de harmonizar escalas pode ser suprida através da normalização dos valores envolvidos nas medições. Um processo de normalização pode, por exemplo, corresponder à adaptação de resultados de grandezas distintas a uma escala numérica única.

A normalização dos valores resultantes dos indicadores tem como objetivo evitar os efeitos de escala na agregação dos indicadores (KPIs) e de resolver o problema de alguns dos indicadores serem do tipo “quanto maior melhor” e outros do tipo “quanto menor melhor”. Será portanto

necessário converter todos os valores extraídos dos indicadores para uma escala limitada entre 0 e 1.

Para normalizar os resultados originais dos indicadores é proposto um método de conversão linear, que garante todos os novos índices na mesma dimensão. A transformação linear do valor resultante de um indicador de desempenho para valores numa escala adjacente pode ser conseguida através de interpolação linear, tal como mostra a Figura 6.6. Pela interpolação linear pode obter-se a equivalência de valores intermédios entre escalas adjacentes.

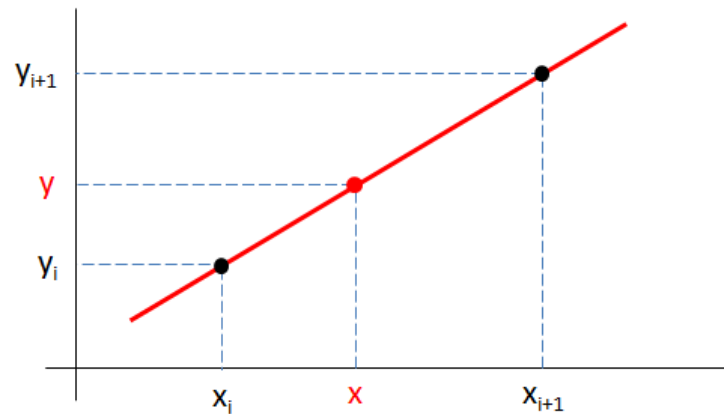


Figura 6.6 – Interpolação linear

A equação da reta apresentada na Figura 6.6 é representada pela equação (6.1) e pode ter os desenvolvimentos seguintes:

$$\frac{y_{i+1} - y_i}{x_{i+1} - x_i} = \frac{y - y_i}{x - x_i} \quad (6.1)$$

$$\frac{x - x_i}{x_{i+1} - x_i} = \frac{y - y_i}{y_{i+1} - y_i} \quad (6.2)$$

A igualdade estabelecida na equação (6.2) relaciona proporcionalmente a equivalência entre as variáveis das abcissas (horizontal), com as variáveis das ordenadas (vertical), representadas na Figura 6.6. Assim, poder-se-á estabelecer que qualquer valor intermédio de um intervalo conhecido com limite superior e inferior pode ser correspondido proporcionalmente com um valor no domínio de outro distinto intervalo, cujos limites também se conheçam. Este método permitirá a conversão linear de qualquer que seja o resultado fornecido por um indicador de desempenho, num índice de desempenho no intervalo entre 0 e 1, ou seja, a normalização do indicador. A formulação simplificada do método de conversão linear é dada pela fórmula (6.3), tal como se segue:

$$k' = \frac{k - k_{\min}}{k_{\max} - k_{\min}} \quad (6.3)$$

Onde a incógnita k' representa o objeto sobre a qual a função opera, ou seja, o índice de desempenho (valor a normalizar entre 0 e 1). O valor real do resultado do indicador é atribuído a k . Os limites do intervalo de medida estabelecidos para o indicador são respetivamente, k_{\max} , melhor resultado possível e, k_{\min} , pior resultado possível.

O resultado obtido por k' será um valor adimensional e varia entre 0 (pior desempenho) e 1 (melhor desempenho). Deste modo, o valor de desempenho proveniente de qualquer indicador converte-se num valor desprovido de qualquer unidade de medida relacionada com o seu cálculo. Este resultado expressa a proporção (ou percentagem) em como uma determinada meta ou objetivo que o indicador mede foi alcançado, tal como no caso dos rácios. É portanto um valor pertencente a uma escala absoluta.

Uma vez normalizados todos os indicadores, estão assegurados novos índices de desempenho k' , todos na mesma dimensão e possíveis de serem agregados para o cálculo de um índice global de desempenho LARG.

Este método de normalização é apresentado por Vercellis (2009) como o método min-max. Segundo Vercellis (2009), o método min-max é a técnica mais utilizada para a normalização de dados, quando se pretende uma transformação dos dados originais para uma escala limitada entre o valor mínimo "0" e o valor máximo "1". Este método de normalização é também utilizado nos procedimentos dos métodos da família ELECTRE (Dias *et al.*, 2006; Figueira *et al.*, 2013).

6.3.6. Indicador Global LARG

A metodologia de avaliação baseia-se no cálculo de desempenho normalizado ao nível dos vários indicadores que foram selecionados por serem considerados relevantes para a avaliação LARG da gestão da manutenção do edifício.

Como resultado final, o modelo fornece um índice de desempenho global da gestão da manutenção. Um valor único determinado pelo somatório ponderado de todos os valores obtidos da agregação de indicadores de desempenho ao nível de cada um dos paradigmas LARG.

O valor da agregação dos resultados dos indicadores para cada categoria LARG é calculado da seguinte forma:

$$I = \left[\left(\sum_{i=1}^n (K_i \cdot Wk_i) \right) \cdot W_I \right] \quad (6.4)$$

Onde:

I - Valor da agregação dos indicadores na categoria "I"

n - Número de indicadores de desempenho considerados na categoria "I"

K_i - Valor normalizado do indicador de índice "i" na categoria "I"

Wk_i - Peso (ponderação) para agregação de cada indicador K_i

W_i - Peso (ponderação) para agregação do valor da categoria “I” no índice LARG

O valor obtido pela fórmula (6.4), ou seja, pela agregação dos indicadores dentro de cada categoria LARG, é portanto, a soma ponderada dos resultados dos indicadores selecionados para essa respectiva categoria. De forma a englobar as contribuições de todas as categorias LARG num valor único de avaliação de desempenho da gestão da manutenção, somam-se os valores ponderados dos resultados de desempenho de cada categoria.

O índice de avaliação global LARG pode representar-se pela seguinte formulação (6.5):

$$LARG = \left[\left(\sum_{i=1}^n (L_i \cdot WL_i) \right) \cdot W_L \right] + \left[\left(\sum_{i=1}^n (A_i \cdot WA_i) \right) \cdot W_A \right] + \left[\left(\sum_{i=1}^n (R_i \cdot WR_i) \right) \cdot W_R \right] + \left[\left(\sum_{i=1}^n (G_i \cdot WG_i) \right) \cdot W_G \right]$$

Onde:

$LARG$ - Índice global de avaliação LARG

n - Número de indicadores de desempenho considerados em cada categoria LARG

L_i - Valor normalizado de cada indicador *Lean*

A_i - Valor normalizado de cada indicador *Agile*

R_i - Valor normalizado de cada indicador *Resilient*

G_i - Valor normalizado de cada indicador *Green*

WL_i - Peso para agregação de cada indicador *Lean*

WA_i - Peso para agregação de cada indicador *Agile*

WR_i - Peso para agregação de cada indicador *Resilient*

WG_i - Peso para agregação de cada indicador *Green*

W_L - Peso para agregação da avaliação na categoria *Lean*

W_A - Peso para agregação da avaliação na categoria *Agile*

W_R - Peso para agregação da avaliação na categoria *Resilient*

W_G - Peso para agregação da avaliação na categoria *Green*

6.4. Representações Gráficas dos Resultados LARG

Como forma de representar graficamente os resultados da avaliação LARG, desenvolveu-se um diagrama de contribuições (Figura 6.7), o qual permite comparações de resultados.

No diagrama, os valores normalizados dos resultados de cada indicador são expressos sob a forma de diagrama de barras, cujas cores identificam a categoria a que pertencem. Em posição posterior e ocupando a largura de cada categoria de avaliação no gráfico, é também exposto em barra o valor da soma ponderada dos resultados dos indicadores da respetiva categoria. A cor destas barras é mais clara para permitir contraste, porém, apenas será visível a parte da barra correspondente, nos casos em que um determinado indicador apresente um resultado inferior à soma ponderada da sua categoria. O valor do índice global conseguido no desempenho da Gestão da Manutenção LARG é exposto sob a forma de linha horizontal a negro.

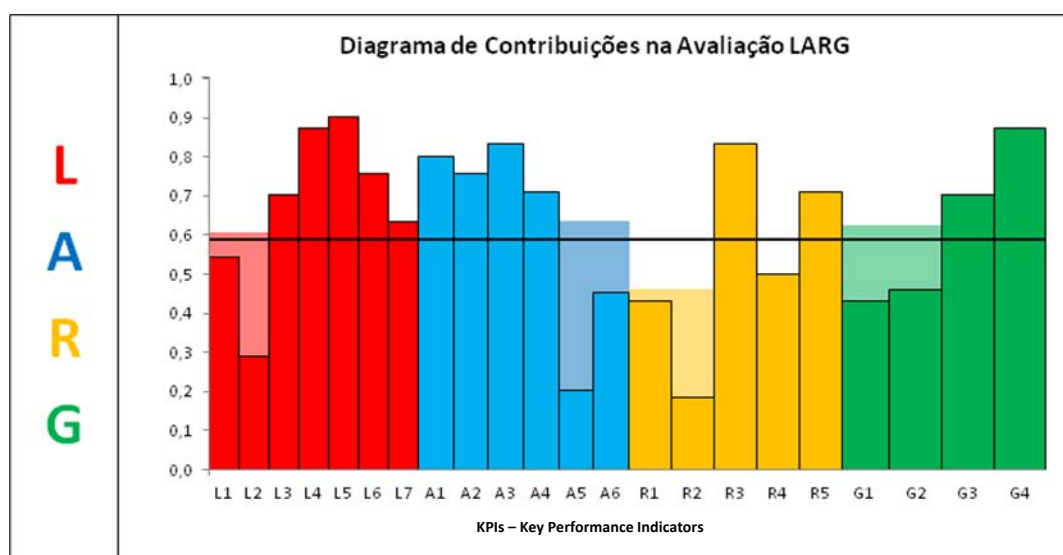


Figura 6.7 – Diagrama de contribuições na avaliação LARG

A análise deste diagrama permite verificar as distintas contribuições que cada indicador na avaliação forneceu para a obtenção de um determinado índice LARG. Permite ainda analisar o contraste entre as contribuições mais significativas.

A presença de resultados de KPIs extremamente baixos revela fraquezas de desempenho face aos objetivos pretendidos, contribuindo negativamente para o índice global. Essas interpretações permitirão deduzir más condições de desempenho e possibilitarão alertar a gestão para eventuais melhorias no aspeto medido.

6.5. Análise de Resultados LARG

A metodologia proposta nesta tese permite adequar um modelo de avaliação do desempenho da gestão da manutenção LARG, de forma holística e abrangente, à realidade em que se insere um determinado edifício.

A última etapa da metodologia proposta consiste em estabelecer as ações necessárias a serem empreendidas para anular, corrigir, alterar, manter ou melhorar uma determinada evolução no desempenho da manutenção.

Mediante a percepção de desvios de desempenho da manutenção, face às estratégias adotadas para o alcance dos objetivos, devem ser realizadas as correções e os ajustes necessários numa perspetiva de melhoria contínua.

A manutenção comunica o seu desempenho e demonstra em que medida os seus objetivos estão sendo atingidos de modo a favorecer uma percepção organizacional da manutenção a confrontar com as expectativas da empresa.

Esta metodologia é inovadora e permite a análise dos resultados do desempenho da gestão da manutenção numa perspetiva LARG. Permite ao gestor da manutenção analisar os distintos desempenhos das atividades da manutenção ao nível de aspetos considerados fundamentais no contexto dos ativos físicos, da dimensão e complexidade do edifício, da natureza e estratégia do negócio inerente e, sobretudo com os respetivos objetivos integrados, possibilitando a análise da sua tangibilidade segundo os paradigmas *Lean, Agile, Resilient e Green*.

A nova filosofia LARG que esta dissertação introduz na manutenção é, sobretudo uma abordagem abrangente à área de ação da gestão da manutenção e fornece os mecanismos para uma análise do seu desempenho.

A estrutura de KPIs selecionados para a avaliação global LARG observa o desempenho conseguido pela manutenção. O gestor deverá analisar os resultados conseguidos para a percepção das distâncias para com os objetivos alvejados. O diagrama de contribuições na avaliação LARG expõe a confrontação dos resultados conseguidos com os valores expectáveis ou desejados. O gestor dispõe assim de uma ferramenta de análise ao desempenho que o permite guiar na otimização das suas atividades e recursos.

Os resultados da aplicação da metodologia proporcionam, não só uma visão global do desempenho da manutenção, como também individualizada aos aspetos e parâmetros considerados importantes em função dos seus objetivos e estratégia, atendendo ao conceito LARG. Esta ferramenta auxilia também o gestor a definir novos objetivos e/ou traçar novas estratégias perante a percepção de determinados desempenhos.

Os índices de desempenho da manutenção LARG permitem prenunciar tendências, estabelecer ações corretivas e auxiliar a gestão da melhoria contínua.

CAPÍTULO 7

APLICAÇÃO DA METODOLOGIA - CASO DE ESTUDO AEROPORTO

7.1. Introdução

As empresas devem implementar um conjunto adequado de indicadores para medir o desempenho dos serviços de manutenção e a influência das práticas implementadas nas suas atividades (Gonçalves *et al.*, 2014b). A gestão da manutenção deve preocupar-se com o bom funcionamento das instalações, sistemas e equipamentos, obtendo a máxima disponibilidade e boas condições de trabalho, tudo a um custo global otimizado. Os gestores da manutenção têm a responsabilidade de planejar, controlar e supervisionar a manutenção e a melhoria dos métodos organizacionais que também contribuem para os objetivos gerais das empresas (Gonçalves *et al.*, 2014b). Os gestores necessitam de informação sobre o desempenho da manutenção, para planejar e controlar as suas atividades.

Pretende-se neste capítulo aplicar a metodologia desenvolvida para a avaliação do desempenho da gestão da manutenção LARG, já apresentada no Capítulo 6. O objetivo da metodologia proposta é fornecer uma visão abrangente do desempenho da manutenção, de forma a possibilitar a otimização das suas atividades e recursos, em função dos ativos físicos envolvidos e das estratégias do negócio das organizações. A utilização holística dos paradigmas do conceito LARG na gestão da manutenção constitui a razão fundamental deste trabalho de investigação. O modelo equacionado com base no conceito LARG permitirá uma visão inovadora, interpretando aspetos essenciais das atividades da manutenção e contribuirá para uma gestão mais eficiente na resposta às necessidades técnicas, económicas e competitivas atuais das organizações.

Neste capítulo, recorrer-se-á a um caso de estudo baseado na realidade da gestão das atividades de manutenção da estrutura de um aeroporto. Com esta aplicação pretende-se demonstrar a utilização da metodologia desenvolvida e estabelecer a integração dos paradigmas LARG como um conceito inovador possível de implementar na gestão da manutenção da organização.

O caso de estudo baseia-se numa organização com uma grande estrutura de edifícios, instalações, sistemas e equipamentos. Esse conjunto de ativos físicos requer uma manutenção cuidada e exigente para assegurar um serviço de qualidade e corresponder à atual competitividade internacional. A manutenção de um aeroporto requer a otimização de todas as atividades para serem obtidos níveis satisfatórios de produtividade, garantida a segurança e fornecido um serviço de qualidade a todos os clientes e parceiros no negócio.

Não teria sido possível esta aplicação prática sem a colaboração de um experiente Gestor da Manutenção de um importante aeroporto internacional. Por questões de confidencialidade não é possível revelar o aeroporto ao qual se referem os dados utilizados mas, para a tomada de decisão na aplicação da metodologia proposta ao caso de estudo, a sua colaboração foi crucial para a avaliação, de certa forma subjetiva, não só dos pesos intrínsecos dos KPIs, bem como da sua participação na avaliação dos mesmos dentro dos critérios estabelecidos.

7.2. Apresentação do Caso de Estudo – Aeroporto

Suponhamos um aeroporto internacional com uma estrutura de grande complexidade. A organização proprietária do aeroporto enfrenta vários níveis de gestão da infraestrutura, englobando diferentes atividades, sobretudo concentradas em quatro grandes áreas:

- **Operações:** relacionadas com a aviação, que incluem a gestão operacional, a assistência em escalas de voos, as operações aeroportuárias, as operações de socorro, a coordenação de *slots* (faixas horárias para aterragem em aeroportos), a segurança (*safety* e *security*); e a “facilitação”, que engloba o conjunto de medidas e procedimentos com o objetivo de facilitar o tráfego aéreo, eliminação de atrasos nos voos, tripulação, passageiros e carga dos aviões, alfandega e autorizações em geral;
- **Engenharia e Manutenção:** com responsabilidade ao nível do planeamento, estudo para melhorias operacionais e novos projetos, construção, desenvolvimento e acompanhamento dos sistemas, dos equipamentos e instalações que integram a infraestrutura aeroportuária e da empresa, assegurando a sua exploração, manutenção e operacionalidade;
- **Marketing:** integra funções ao nível do marketing, do apoio ao passageiro, da comunicação e imagem da empresa, da regulação económica e preços do mercado;
- **Negócios não-aviação:** compreende a coordenação de projetos de desenvolvimento estratégico do negócio, procurando maximizar a rentabilidade dos espaços e a gestão eficiente das infraestruturas e dos espaços concessionados no aeroporto.

A organização gestora do aeroporto enfrenta, portanto, o desafio de assegurar um desempenho que transmita confiança aos seus parceiros de negócio e clientes, orientado para a rentabilidade e sustentabilidade. Para tal, a estrutura aeroportuária e todas as atividades inerentes à sua operacionalidade devem ser geridas de forma eficiente. O objetivo principal do aeroporto é oferecer um serviço de qualidade aos seus clientes, criando valor para a organização e assegurando níveis elevados de qualificação profissional e motivação dos seus colaboradores. Por outro lado, o serviço prestado pelo aeroporto deve também contribuir para o desenvolvimento económico, social e cultural da região em que se insere.

As atividades e o desempenho global da empresa devem proporcionar o conjunto de serviços ajustado às necessidades dos clientes e responder adequadamente às tendências e solicitações do mercado, ao desenvolvimento tecnológico e ao cumprimento das exigências legais e normativas da atividade aeroportuária. A organização reconhece que deve desenvolver estratégias inovadoras por forma a manter-se competitiva no mercado e tirar proveito das oportunidades no negócio. Por outro lado, admite também que, para atingir as suas metas devem ser implementadas as práticas e metodologias que proporcionem a otimização da gestão das atividades e a melhoria contínua das instalações. Neste contexto, é proposta a metodologia desenvolvida para a avaliação de desempenho da gestão da manutenção no âmbito LARG.

De uma forma geral, os objetivos estratégicos da organização são a gestão eficiente da infraestrutura aeroportuária, garantindo os níveis de produtividade e de qualidade de serviço a passageiros e companhias aéreas, melhorando continuamente o serviço de manutenção ideal e reduzindo os custos. Os principais objetivos da manutenção foram definidos pelo departamento de manutenção e podem ser resumidos da seguinte forma:

- Proporcionar a melhoria contínua das instalações;
- Garantir a qualidade do serviço do aeroporto;
- Otimizar as atividades de manutenção;
- Permitir gestão proativa e agilidade;
- Obter elevada disponibilidade e fiabilidade dos ativos físicos;
- Fornecer visão compartilhada do desempenho da manutenção entre os funcionários;
- Proporcionar um ambiente de trabalho seguro, com funcionários motivados.

As atividades de manutenção de toda a estrutura do aeroporto são planeadas, controladas e geridas pelo departamento de manutenção. O planeamento da manutenção, à semelhança de instalações industriais, é um trabalho exigente e assume um papel determinante na garantia do bom funcionamento das instalações, sistemas e equipamentos do aeroporto. A estrutura do aeroporto possui uma diversificada gama de ativos físicos.

Nos edifícios estão instalados sistemas e equipamentos de elevada complexidade assegurando as funcionalidades típicas de um aeroporto com segurança e conforto para as pessoas, viajantes (passageiros), visitantes e todos os colaboradores envolvidos no negócio. Existe elevada quantidade de equipamentos relacionados com o encaminhamento dos passageiros, bagagens e com as exigências de segurança aeroportuária, como por exemplo: portas automáticas, torniquetes, portas antirretorno, balcões de *check-in*, sistema de tratamento de bagagem, pontes telescópicas (mangas), elevadores, escadas e tapetes rolantes, sensores de leitura e contagem de passageiros, estruturas divisórias e de acessibilidade a distintos espaços, mobiliário específico para salas de espera de passageiros, mobiliário diverso, entre outros. Para assegurar a utilização

e o conforto interior dos edifícios existem instalações elétricas e de iluminação, sistemas de climatização e tratamento do ar interior, redes de água e gás para as zonas de restauração, e várias instalações sanitárias acessíveis a partir de distintos espaços para conveniência de passageiros e funcionários. As instalações dos edifícios dispõem de sistemas de painéis solares térmicos e caldeiras para produção de água quente a ser fornecida nas instalações sanitárias e zonas de restauração internas. Existem também sistemas de segurança contra incêndio que cobrem os espaços interiores e exteriores dos edifícios.

O aeroporto possui edifícios com funcionalidades, dimensões e estruturas distintas. Alguns edifícios foram construídos em betão e, outros há, erigidos com estruturas e/ou coberturas metálicas. Existem também estruturas, instalações e equipamentos exteriores: para o acolhimento de passageiros e visitantes; em zonas concessionadas a empresas parceiras no negócio; em zonas técnicas; em parques de estacionamento; em parques e cais de carga de mercadorias; entre outros.

As instalações dos edifícios estão providas de grupos geradores de energia elétrica para assegurar o contínuo funcionamento no caso de falha no fornecimento de energia elétrica, por parte da empresa distribuidora exterior. Existem também reservatórios de água e sistemas de bombagem para garantir o necessário fornecimento de água a todos os serviços, no caso de falha na rede municipal de distribuição de água. São, portanto, sistemas redundantes necessários para garantir o correto e exigente funcionamento das instalações, de forma a não comprometer o negócio e a imagem do aeroporto e da região em que se insere.

Também para as operações exteriores aos edifícios do aeroporto existem instalações, sistemas e equipamentos de extrema importância e que na sua maioria estão relacionadas com a aviação, assistência às aeronaves e ao embarque e desembarque de passageiros. A pista de aterragem e descolagem, assim como as zonas de circulação e estacionamento das aeronaves exigem iluminação específica. A iluminação e sinalização luminosa da pista do aeroporto são utilizadas para a aterragem e descolagem durante a noite ou em caso de más condições de visibilidade. Estas instalações não podem falhar nem estar indisponíveis. É de referir que os sistemas de iluminação e sinalização da pista do aeroporto têm várias redundâncias para assegurar a sua funcionalidade. Além disso, exigem constante inspeção e manutenção para garantir a máxima fiabilidade, disponibilidade e segurança. O controlo do tráfego aéreo é realizado na torre de controlo, também exigindo o contínuo e correto funcionamento.

Os aviões que permanecem na placa do aeroporto, durante o embarque e desembarque de passageiros, necessitam de ser alimentados por energia elétrica. Durante essas operações, é requerido o fornecimento de energia para manter em funcionamento alguns sistemas específicos das aeronaves, tal como a climatização dos seus espaços interiores, garantindo o conforto dos passageiros. Para assegurar o fornecimento de energia elétrica às instalações, sistemas e equipamentos exteriores, o aeroporto tem também vários sistemas geradores redundantes.

Nos quatro últimos parágrafos foram mencionados e descritos alguns dos principais sistemas e equipamentos que integram a estrutura de um aeroporto. Supostamente, esta estrutura

aeroportuária compreende muitos mais equipamentos com diferentes especificidades, dimensões e cujas funcionalidades exigem também uma manutenção atenta e eficaz. O propósito desta investigação não está relacionado com a especificidade de qualquer que seja a natureza dos equipamentos, das instalações ou dos edifícios. Por esse motivo, estes não serão exaustivamente apontados, nem detalhados com pormenor, bastando perceber que a atual complexidade de uma grande estrutura aeroportuária exige uma gestão da manutenção eficaz, abrangente e otimizada. Importa, portanto, compreender que o departamento de manutenção do aeroporto tem a tarefa de gerir as atividades de manutenção que garantam o adequado funcionamento dos ativos físicos implícitos na natureza do negócio. A principal responsabilidade da manutenção é a de assegurar a máxima disponibilidade para exploração e operação desses ativos físicos. A manutenção deve, portanto, recorrer a modelos que permitam gerir de forma otimizada o desempenho das suas atuações, práticas e estratégias.

A gestão, o planeamento e a programação das atividades da manutenção são tarefas asseguradas pelo departamento de manutenção. A estrutura organizacional do departamento de manutenção do aeroporto é composta como expõe a Figura 7.1.

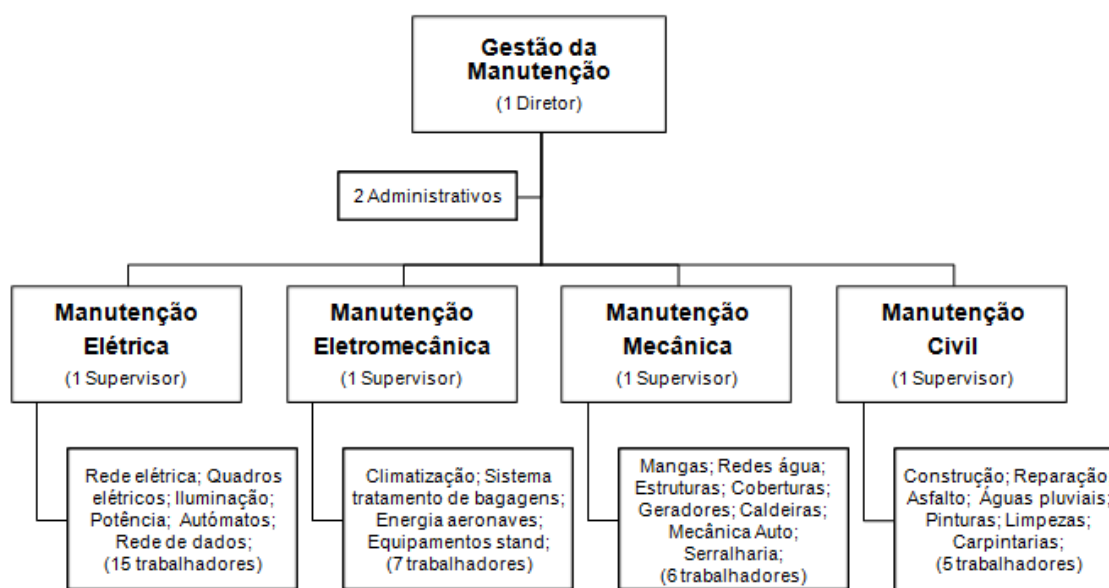


Figura 7.1 – Estrutura organizacional do departamento de manutenção do aeroporto

Nos próximos pontos descrevem-se as práticas de manutenção, as capacidades de trabalho e, de um modo geral, elucida-se como é planeada a gestão da manutenção no aeroporto:

- A gestão da manutenção é realizada pelo diretor de manutenção em sintonia com os supervisores de cada setor da manutenção. Ao diretor de manutenção compete a gestão de todas as atividades dos serviços de manutenção, definição dos objetivos e estratégias, atribuição de tarefas e responsabilidades, implementação dos planos e programas de manutenção, controlo e supervisão do desempenho das equipas de manutenção, gestão

de contratos e controlo dos serviços subcontratados. A atividade de gestão da manutenção compreende também a melhoria de métodos e integração de modelos de organização e gestão do desempenho da manutenção;

- As tarefas de manutenção preventiva são programadas, com a descrição do modo operatório a utilizar, a sequência das operações, materiais e peças a aplicar, ferramentas e aparelhos de medida a utilizar, especialização, qualificação e quantidade de executantes, normas de segurança e ambientais a observar e tempos previstos de execução;
- O planeamento é estruturado com as tarefas de manutenção previamente programadas com todos os procedimentos, recursos e tempos necessários para a execução da manutenção;
- As equipas técnicas da manutenção executam a grande maioria das tarefas de manutenção do aeroporto. É praticada uma manutenção contínua, tanto corretiva, preventiva, como também trabalhos de melhoria;
- As rotinas de manutenção programada (preventiva) são realizadas em sintonia com os vários setores operacionais do aeroporto evitando, sempre que possível, os tempos em que os equipamentos são requeridos. As equipas de manutenção atuam periodicamente nos equipamentos de acordo com os planos de manutenção de forma a garantir a máxima disponibilidade dos equipamentos;
- Uma significativa parte da manutenção preventiva em instalações e equipamentos específicos, como é o caso de elevadores, escadas e tapetes rolantes, sistema de tratamento de bagagem e pontes telescópicas são executadas por empresas externas subcontratadas. Para determinados equipamentos, o aeroporto recorre ao *outsourcing*, como forma de gerir custos fixos e assegurar que os trabalhos são executados por equipas especializadas;
- As ações de manutenção corretiva, na sua maioria, são realizadas pelas equipas de manutenção do aeroporto. Porém, alguns serviços de manutenção corretiva mais especializados e cuja garantia de execução não seja assegurada pelos técnicos do aeroporto, são executados por empresas subcontratadas. Para determinadas reparações, cuja complexidade, especificidade técnica ou dimensão não pode ser assegurada pelo pessoal interno, são contratadas empresas externas com *know-how* para tal, evitando custos fixos de mão-de-obra especializada e custos de aquisição e conservação de equipamentos e ferramentas auxiliares;
- As equipas de manutenção são o principal suporte de todo o serviço de manutenção. Existe um plano de formação específico com o objetivo de capacitar e habilitar o pessoal da manutenção de acordo com: as necessidades dos serviços; a aquisição de novos equipamentos e/ou ferramentas; a atualização a novas tecnologias, métodos e práticas; a atualização às exigências legais e normativas. São realizadas também ações de formação

interna entre colaboradores, com o objetivo de valorização, motivação e reconhecimento das capacidades da mão-de-obra interna. O departamento de manutenção do aeroporto empenha-se no crescimento das qualificações profissionais e motivação das suas equipas, na partilha de informação e conhecimento, na melhoria contínua das práticas e de gestão das atividades. Sobretudo, o departamento da manutenção pretende ter colaboradores habilitados, com otimismo, com autoconfiança, resilientes às adversidades e com ambição, por forma a atingir os melhores níveis de competitividade da empresa no negócio;

- O treino das equipas de manutenção no decorrer das atividades do dia-a-dia da manutenção é também uma preocupação do departamento. No planeamento das tarefas existe a atenção de ajustar, sempre que possível, a quantidade de executantes conjugando os mais qualificados com outros menos qualificados para a respetiva especialidade da ação. A partilha do conhecimento e o espírito de equipa são fatores preponderantes para um trabalho de qualidade. Desta forma, pretende-se o aumento da experiência, da capacidade e polivalência do pessoal para uma maior agilidade e resiliência das equipas de manutenção. A supervisão das equipas de manutenção permite reconhecer o desempenho de cada trabalhador, por forma a ajustar as competências às necessidades dos serviços e no sentido de valorizar os recursos humanos;
- Em termos de peças sobressalentes e materiais para a manutenção, é apenas acautelado um *stock* mínimo e necessário para garantir os trabalhos preventivos e dar cobro às ocorrências com maior previsibilidade. Existe, porventura, a ocorrência de algumas avarias, cuja correção deve ser assegurada com a máxima prontidão e, para tal, algumas peças sobressalentes são requeridas. Contudo, existe facilidade na aquisição de peças sobressalentes, quer através de contratos estabelecidos, quer por encomenda ou aquisição quando requerida. Deste modo, a gestão pretende assegurar a devida manutenção sem suportar elevados e injustificáveis custos de posse e armazenamento. São raras as situações em que a manutenção incorre em atrasos nos trabalhos devido a falta de peças ou materiais;
- O sistema de gestão da manutenção implementado possui um *software* próprio para registo de todas as ordens de trabalho (OTs) e ocorrências de avarias. O sistema funciona *on-line (intranet)* e permite a consulta de informação detalhada sobre todas as atividades da manutenção e com indicação dos códigos dos equipamentos. O registo é detalhado e permite identificar o nível de criticidade técnica das incidências:
 - **Baixo:** incidência de quase avaria ou de avaria detetada sem causar qualquer anomalia preocupante ao normal funcionamento das operações do aeroporto. A manutenção deve proceder à inspeção e/ou correção no momento mais oportuno por forma a não perturbar as operações, nem causar incómodo aos clientes. Por exemplo, a torneira do lavatório de uma instalação sanitária não funciona ou uma lâmpada fundida num espaço que possui ainda boas condições de iluminação;

- **Normal:** incidência de avaria que pode causar problemas ao normal funcionamento do aeroporto, contudo, outros equipamentos redundantes podem ser utilizados, ou a não utilização do equipamento não perturba com gravidade as operações requeridas face às condições do momento. A manutenção deve, logo que possível, corrigir o problema para repor a funcionalidade do equipamento. Por exemplo: avaria no tapete de bagagens num balcão de *check-in*, existindo ainda outros balcões disponíveis para utilizar sem causar grande transtorno para os clientes, ou porta automática de entrada e saída de clientes de um edifício gare não fecha, ou ainda, o não funcionamento de um tapete rolante para circulação de passageiros;
 - **Urgente:** incidência de avaria que causa a paragem ou o mau funcionamento de um equipamento requerido para algumas operações, causando possíveis transtornos aos passageiros, companhias aéreas e/ou funcionários. Neste nível de criticidade a empresa exploradora do aeroporto pode incorrer em prejuízos, nomeadamente se a avaria causar o atraso de voos e/ou passageiros. Por outro lado, essas incidências podem ser prejudiciais para a imagem do aeroporto. Por exemplo: avaria no sistema de tratamento de bagagens impede a normal fluidez para a carga nos aviões, ou uma ponte telescópica encravou e não permite o desacoplamento a uma aeronave, ou avaria nos quadros elétricos dos sistemas de ar condicionado e climatização da gare de passageiros;
 - **Disruptivo:** incidência de avarias que causam a paragem de equipamentos críticos e requeridos para as operações fundamentais no aeroporto causando situações disruptivas e adversidades na empresa, aos passageiros, companhias aéreas e/ou parceiros no negócio. São também identificadas com este tipo de criticidade as incidências graves que põem em causa a segurança de pessoas e aeronaves, contudo, essas incidências são raras. Normalmente, as incidências consideradas disruptivas são por exemplo: avarias nos sistemas de tratamento de bagagens, nas pontes telescópicas, nos sistemas de fornecimento de energia aos aviões, nos sistemas de iluminação e sinalização à aviação, falhas nos quadros elétricos que alimentam equipamentos e outros sistemas requeridos em momentos de grande tráfego e cuja resolução se prevê prolongada.
- O sistema com CMMS *on-line* para assistir a gestão da manutenção foi implementado recentemente. Por esse motivo, o histórico com registo detalhado de incidências apenas contempla informação dos três últimos anos. O sistema permite uma consulta funcional para análise e comparações de distintos dados. Para além disso, o sistema fornece informação essencial para controlar as atividades pendentes e em curso pelas equipas de manutenção;
 - Através do sistema CMMS, a gestão da manutenção verifica com mais detalhe os dados referentes às avarias que ocorrem nos equipamentos com mais frequência, ou cujo

impacto nas operações do aeroporto, revele maior preocupação, passando então a ser estudada a causa da avaria com o objetivo de incrementar melhorias aos equipamentos;

- A gestão da manutenção realiza diariamente análises aos dados do histórico e recorre a indicadores de desempenho para orientação na tomada de decisões e para definir novos objetivos e/ou estabelecer novas estratégias. O diretor do departamento de manutenção utiliza uma vasta gama de indicadores de desempenho como forma de otimizar a sua gestão;
- O departamento de manutenção possui elevada quantidade de informação técnica para assistir às ações de manutenção. Existe relativa facilidade no acesso à informação técnica, na sua maioria disponível digitalmente através de sistemas informáticos. Essa informação é normalmente fornecida pelos fabricantes dos equipamentos, pelos instaladores e/ou projetistas das instalações, como também, criada e produzida pelo próprio departamento;
- Existe a informação necessária e organizada para assistir às atividades da manutenção. Porém, a sua consulta exige algum esforço e tempo por parte dos colaboradores. A acessibilidade à informação por meio dos sistemas informáticos disponíveis é pouco dinâmica para permitir as melhores práticas, e o departamento de manutenção reconhece que deveria haver uma ferramenta informática que facilitasse a consulta no local e durante a intervenção das equipas de manutenção, sempre que necessário;
- A manutenção do aeroporto é consciente e atenta a questões ambientais. O planeamento e os recursos da manutenção são analisados, procurando minimizar a agressividade com o ambiente. As equipas de manutenção recorrem a práticas ambientalmente recomendadas e é feita a recolha e tratamento dos resíduos produzidos nas suas intervenções. Além disso, o departamento de manutenção envolve-se no estudo de projetos de novas instalações e nos processos de aquisição de novos equipamentos, visando, não só, a análise de manutibilidade dos sistemas e a segurança de pessoas envolvidas, como também, na minimização dos impactos ambientais;
- A organização exploradora do aeroporto mantém relações de *benchmarking* com outras organizações similares. Os resultados têm vindo a ser positivos, alargando horizontes, nomeadamente na área da manutenção.

O departamento de manutenção do aeroporto pretende implementar um modelo de gestão da manutenção que permita analisar o seu desempenho nos aspetos essenciais e que auxilie na tomada de decisões estratégicas eficazes, com vista a atingir os objetivos definidos. A metodologia de avaliação de desempenho da gestão da manutenção LARG foi proposta. Este departamento interessou-se pela aplicação da metodologia, no sentido de perceber como os resultados obtidos podem contribuir com inovação para a gestão da manutenção. O responsável pela gestão da manutenção no aeroporto interessou-se também pelo modelo LARG, ou seja, pela

abordagem à gestão da manutenção segundo os conceitos LARG. Estes novos paradigmas fornecem uma visão inovadora e abrangente para abordar os vários aspetos da atuação da manutenção, fundamentais na resposta às necessidades técnicas, económicas e competitivas atuais.

7.3. Aplicação da Metodologia

Nos próximos números a metodologia proposta nesta dissertação será aplicada à gestão da manutenção do aeroporto. Toda a informação e dados expostos são baseados em cenários reais da gestão da manutenção de um aeroporto, contudo, podem não representar exatamente a realidade. Qualquer que seja a semelhança com a eventual realidade poderá, em determinados casos, ser coincidência. A aplicação da metodologia a este caso de estudo pretende apenas ser uma demonstração experimental, dando a conhecer a sua potencial utilização e contributos para a gestão da manutenção LARG em edifícios e estruturas de grande dimensão. A aplicação ao caso de estudo segue a estrutura conceptual da metodologia proposta, representada na Figura 6.2.

7.3.1. Objetivos da gestão da manutenção no aeroporto

É necessário compreender as necessidades da organização para responder à pergunta de quais são os indicadores relevantes para a manutenção e que, de algum modo, estão relacionados com aspetos essenciais para o negócio (Gonçalves *et al.*, 2014b).

A organização exploradora do aeroporto prevê o aumento do número de voos e de passageiros para os próximos anos. Em virtude da complexidade e da dimensão tecnológica das instalações do aeroporto e das exigências operacionais da atividade aeroportuária, a empresa pretende assegurar a máxima eficiência e disponibilidade dos equipamentos de forma a responder com um serviço de qualidade. O desempenho da gestão da manutenção dos ativos físicos que integram as instalações do aeroporto é fator determinante, não só na resposta às necessidades técnicas para garantia da qualidade do serviço, como também às necessidades económicas garantindo a operação e a manutenção desses ativos a um custo global otimizado. Os níveis competitivos atuais exigem níveis operacionais de excelência e a redução de custos como forma de garantir a permanência dos parceiros do negócio e manter a atração dos clientes (passageiros) que visitam a região em que se insere o aeroporto.

Fundamentalmente, a gestão da manutenção tem como objetivos garantir a eficiência e disponibilidade dos ativos físicos para a exploração do negócio, otimizar os recursos materiais e humanos, responder com agilidade e resiliência às incidências e adversidades, adotando práticas e recursos não agressivos para o ambiente, tudo com uma gestão modelada para a redução de desperdícios e custos otimizados. Os objetivos ambicionados pela organização foram considerados e o departamento de manutenção definiu os objetivos a atingir. Nos próximos pontos são expostos os principais objetivos da gestão da manutenção do aeroporto, identificados alguns dos respetivos parâmetros de desempenho e quantificados valores ambiciosos para confrontar

com os resultados da avaliação de desempenho atual. Os principais objetivos a considerar no caso de estudo para modelação da gestão da manutenção LARG no aeroporto são:

- Redução dos custos da manutenção por unidade de referência (passageiros), tendo como referência os valores dos melhores desempenhos conseguidos por organizações congéneres. Os resultados de excelência captados através das relações de *benchmarking* estabelecidas, apontam para 0,3€ por passageiro;
- Diminuição do consumo de energia por unidade de referência. A gestão da manutenção deve proceder aos possíveis melhoramentos na eficiência energética das instalações. Consta-se que em organizações de referência com aeroportos de instalações similares e idêntico volume de negócios, ou seja, de realidades semelhantes, o consumo energético ronda os 2,5 KWh por passageiro;
- Embora exista interesse em manter a contratação de alguns serviços especializados, existe a intenção de diminuir os custos associados com a manutenção contratada. O departamento de manutenção pretende diminuir o número de contratos, nomeadamente, evitar aqueles cujo âmbito se relaciona com necessidades de intervenção reduzidas e requeridas na eventualidade de ocorrência de avarias. Ou seja, de manutenção corretiva esporádica;
- O elevado número de contratos estabelecidos com o intuito de assegurar serviços ocasionais de manutenção corretiva, para além de aumentarem significativamente os custos, não permitem a flexibilidade na aquisição de serviços (contratação ocasional de outros fornecedores de serviços) que, atendendo à especificidade e urgência das situações, possam verificar-se mais vantajosas. Presume-se que este aspeto pode prejudicar a capacidade de resiliência da manutenção;
- Diminuição do custo com manutenção corretiva. Para além do custo com os referidos contratos de manutenção corretiva, são suportados elevados custos de manutenção corretiva interna. As instalações do aeroporto têm exigido ações de manutenção corretiva dispendiosas. O responsável pela gestão da manutenção admite que 30% seria a percentagem de custo aceitável e “ideal” da corretiva relativamente ao custo total da manutenção;
- Diminuição do número de avarias e incidências que causam: indisponibilidade e/ou baixa fiabilidade dos ativos físicos; baixa qualidade do serviço prestado; reclamações de passageiros, companhias aéreas, parceiros das zonas concessionadas e visitantes; acidentes pessoais; danos ambientais; e principalmente situações disruptivas. É de primordial importância a análise das avarias registadas e identificadas com o nível de criticidade técnica urgente e disruptivo. A manutenção deve proceder à identificação e correção dos problemas que causaram situações disruptivas e ações de manutenção corretiva de urgência também como forma de melhorar a sua resiliência;

- Agilizar os tempos de execução das tarefas de manutenção preventiva de acordo com o planejamento e a programação dos trabalhos. Para a indústria, Muchiri *et al.* (2011) refere que, pelo menos 90% das ações de manutenção preventiva devem ser executadas dentro do tempo especificado;
- Cumprir o plano de manutenção anual, executando todas as ordens de trabalho previstas. Determinadas tarefas de manutenção preventiva não são por vezes realizadas pelo facto das equipas de manutenção estarem envolvidas em ações corretivas ou trabalhos extraordinários relacionados com a instalação de novos equipamentos e/ou construção de novas instalações. Essas ordens de trabalho são normalmente recalendarizadas, contudo nem sempre executadas. O aeroporto tem nos últimos anos ampliado as suas instalações e adquirido novos equipamentos para modernização e adequação tecnológica;
- Em termos gerais, todas as ordens de trabalho, independentemente do tipo de ação de manutenção, não devem exceder os tempos especificados, quer na manutenção planeada, quer na não planeada cujas tarefas executadas têm já tempos definidos como essenciais e aceitáveis. O departamento de manutenção aponta para 2%, a percentagem máxima de ordens de trabalho que excedem o tempo especificado, entre todas;
- Otimização das equipas de manutenção atribuídas às ações de manutenção com o objetivo de evitar a falta ou o excesso de pessoal para as tarefas;
- Otimização da logística de peças e ferramentas, providenciando com a antecedência necessária todos os recursos materiais para as ações de manutenção. Na indústria a percentagem de ordens de trabalho com atraso por falta de material ou mão-de-obra deve ser inferior a 2% (Muchiri *et al.*, 2011);
- Aumento da taxa de ocupação do pessoal da manutenção com o objetivo de aumentar o desempenho global da manutenção. No passado, verificaram-se taxas bastante baixas que se encontravam entre os 60% e os 70% da ocupação das horas de mão-de-obra disponível da manutenção. Atualmente, o número de colaboradores é superior, para além do número de horas de mão-de-obra contratada ter aumentado também. Na indústria é aconselhada uma taxa de ocupação do pessoal superior a 80% (Muchiri *et al.*, 2011);
- Realizar trabalhos de melhoria que proporcionem criação de valor para a empresa. Os trabalhos de melhoria podem ser relacionados com a garantia da disponibilidade, melhoria da fiabilidade, acessibilidade e/ou manutibilidade de equipamentos, trabalhos de adequação dos espaços de operação e exploração do negócio, de oficinas e/ou ferramentas da manutenção, trabalhos de melhoria que beneficiem a imagem da organização, a segurança ou o ambiente. Para a indústria, Muchiri *et al.* (2011) menciona que a manutenção deve dedicar 5% a 10% do total de horas disponíveis à manutenção de melhoria;
- Diminuição dos tempos relacionados com o encaminhamento de incidências, diagnóstico e reparação de avarias. O tempo médio para assistir às incidências deve ser reduzido para

assegurar a qualidade do serviço. O Aeroporto pretende distinguir-se ao nível da qualidade do serviço prestado aos clientes. A prontidão e a rapidez com que os problemas são tratados e resolvidos proporcionam melhores níveis de disponibilidade e qualidade do serviço, também importante para a imagem da organização;

- Garantir a melhoria contínua das instalações e da qualidade do trabalho executado pela manutenção. É relatado que, por vezes, algumas ações de manutenção são retrabalhadas, nomeadamente, corretivas de urgência pelo facto das tarefas terem sido executadas inicialmente em tempo insuficiente para a correta reparação. Esses factos ocorrem esporadicamente e coincidem com momentos de grande tráfego e movimentos de passageiros. Muchiri *et al.* (2011) defendem que para a indústria a percentagem de ordens de trabalho destinadas a retrabalho não deve ser superior a 3%;
- Fomentar a formação interna, a partilha de conhecimentos e a participação conjunta de colaboradores com diferentes qualificações e experiência nas tarefas de manutenção, como forma de aumentar a capacidade técnica e polivalência do pessoal da manutenção. O entendimento do gestor da manutenção é de que, as competências multidisciplinares das equipas de manutenção favorecem a agilidade e resiliência do setor da manutenção;
- Dar continuidade ao plano de formação e estabelecer novas ações de formação adequadas às necessidades e objetivos da manutenção, tal como exposto na descrição das práticas da gestão da manutenção do aeroporto, no número anterior;
- O departamento de manutenção deve dar continuidade à integração da manutenção de equipamentos por computador. Embora a maioria e os principais equipamentos tenham já informação essencial para assistir às atividades da manutenção, outros há, cuja informação não foi ainda tratada e inserida no sistema informático para permitir a sua fácil acessibilidade e consulta, sempre que requerida. Existem ainda alguns equipamentos, os quais não foi ainda possível integrar no sistema CMMS *on-line*. A gestão da manutenção contabiliza os custos, as ocorrências e os tempos das intervenções da manutenção nesses equipamentos, contudo, não é possível discriminar os dados nem detalhes dessas ocorrências;
- Realizar a gestão da recolha e tratamento dos resíduos produzidos pelo setor da manutenção. A manutenção deve ainda adotar estratégias e práticas que conduzam à redução de resíduos e desperdícios, tanto na execução das suas atividades, como também no recurso a produtos e materiais de longa duração, tendo em linha de conta o custo/benefício e o seu impacto ambiental;
- Sempre que possível, recorrer a produtos e materiais com características menos agressivas para o meio ambiente e/ou possíveis de reciclagem;
- A manutenção deve responsabilizar-se pelo estudo e análise das condições operacionais das infraestruturas que conduzem a acidentes e danos ambientais. Deve ainda proceder às devidas correções, informar e consciencializar os vários setores da atividade

aeroportuária para as práticas adequadas e prevenção das causas que conduziram às incidências e acidentes ambientais já ocorridos;

- De forma geral, as metas pretendidas pela gestão da manutenção da infraestrutura aeroportuária são também a melhoria contínua do seu desempenho, melhoria das práticas correntes, melhoria sustentável da manutenção proativa, diminuição das atuações reativas, desenvolvimento de competências das equipas de manutenção e motivação das pessoas envolvidas no serviço para o alcance de todos os objetivos e criação de valor ao negócio. Na organização, o desenvolvimento sustentável é encarado como algo intrínseco ao negócio, à motivação das pessoas e ao desenvolvimento económico, social e ambiental.

7.3.2. Critérios de avaliação dos KPIs

Para a avaliação dos KPIs (alternativas) foi utilizado o conjunto de critérios definidos na Secção 6.3.2.2. A identificação desses critérios resultou da investigação realizada através da revisão da literatura e posterior análise com especialistas na área da gestão da manutenção. A investigação revelou as principais implicações na seleção de KPIs relevantes para a manutenção e cinco critérios foram considerados adequados para avaliar a sua importância. De forma resumida, a descrição do critério é a seguinte:

C₁ : Qual a relação do KPI com os diferentes Paradigmas LARG: o decisor expressa o quanto um KPI é importante para medir aspetos relacionados com o conceito do paradigma *Lean*, *Agile*, *Resilient* ou *Green*, consoante a categoria em que está a ser avaliado;

C₂ : Objetivos específicos da Gestão da Manutenção: o decisor avalia a importância do KPI para medir o desempenho da manutenção no cumprimento dos objetivos definidos em conformidade com os objetivos da empresa;

C₃ : Influência do KPI na Estratégia Global da Manutenção: o decisor avalia a importância do KPI quanto à influência do seu resultado no controlo estratégico da manutenção num processo de melhoria contínua;

C₄ : Qual o predomínio do KPI na Gestão dos Ativos da Empresa: o decisor avalia a importância do KPI para medir e fornecer à gestão de topo da empresa a perceção do desempenho da manutenção dos ativos físicos, de acordo com as necessidades do negócio e que permitem manter a empresa competitiva;

C₅ : Partilha de resultados: o decisor avalia a importância do KPI relativamente ao seu interesse comum entre a manutenção e outros setores da empresa, colaboradores, clientes e/ou parceiros no negócio, em partilhar os resultados medidos pelo KPI, relativos a aspetos da manutenção.

Estes critérios foram também validados pelo gestor da manutenção do aeroporto, que os compreendeu e considerou adequados para avaliar a importância dos indicadores de desempenho da gestão da manutenção a integrar na avaliação LARG. Neste caso, os critérios considerados importantes para o modelo de decisão são todos de maximizar, ou seja, o decisor deve avaliar cada alternativa (KPI) tanto melhor quanto maior for a sua importância perante cada critério.

Para a utilização dos métodos ELECTRE, o decisor tem que atribuir pesos aos critérios. O próximo passo é a atribuição de pesos, como coeficientes de importância relativa a cada um dos critérios. O referido gestor da manutenção (decisor) não sentiu confiança o suficiente para se expressar de forma direta, quanto aos valores dos pesos dos critérios. A metodologia desenvolvida propõe o recurso ao procedimento de Simos revisto, assistido pelo *software* SRF, como forma de auxiliar o decisor a expressar-se quanto às suas preferências e determinar de forma indireta os valores numéricos para os pesos dos critérios. Assim, seguiram-se os procedimentos do método já exposto na Secção 5.2.3 e os dados de preferência do decisor, necessários para o processo (Tabela 7.1), foram introduzidos através dos questionários do *software* SRF. Os valores apropriados para os pesos normalizados dos cinco critérios são, desta forma, apresentados na tabela seguinte.

Tabela 7.1 – Pesos dos critérios gerados pelo *software* SKF

Código do Critério	Ordem do Critério	Nº Cartões Brancos	Pesos Não-Normalizados	Pesos Normalizados
C ₅	1	-	1	8,08
-	-	1	-	-
C ₄	2	-	1,55	12,53
-	-	3	-	-
C ₂	3	-	2,64	21,34
-	-	1	-	-
C ₃	4	-	3,18	25,71
-	-	2	-	-
C ₁	5	-	4	32,34
Total	-	7	(Z =4)	100

O decisor reconheceu que o processo de extração dos pesos dos critérios através do *software* SRF é uma técnica facilitadora para um decisor menos familiarizado no contexto de MCDA. O procedimento foi fácil de aplicar e rápido na determinação dos pesos. Após o conhecimento dos resultados, o decisor concordou com os valores extraídos uma vez que expressam o peso da sua preferência pelos critérios considerados para a avaliação dos KPIs.

Para a aplicação do método ELECTRE III podem ser definidos limiares como pseudo-critérios para uma melhor discriminação das avaliações dos KPIs. Os valores atribuídos aos limiares de discriminação são apresentados na Tabela 7.2, onde estão também presentes os pesos dos critérios para permitir a análise comparativa das respetivas relevâncias.

Tal como já referido na Secção 5.3.1.2 e na Secção 6.3.2.3, a introdução de limiares de indiferença, de preferência ou mesmo de veto, pode ser opcional para alguns ou até para todos os critérios. Contudo, para os critérios em que não são definidos limiares, o método ELECTRE III deixa de estabelecer relações de prevalência difusa.

Tabela 7.2 – Limiares de discriminação para cada critério (ELECTRE III)

Critérios	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5
Direção	Max	Max	Max	Max	Max
Peso	0,3234	0,2134	0,2571	0,1253	0,0808
Limiar de Indiferença	1	1	1	-	-
Limiar de Preferência	2	2	2	-	-
Limiar de Veto	-	-	-	-	-

Não foram atribuídos valores ao limiar de veto em todos os critérios para que nenhuma variabilidade na avaliação dos KPIs inviabilizasse as respetivas seleções. O uso de limiares de veto implica a rejeição de alternativas que possam ter mau desempenho segundo um determinado critério, ainda que os desempenhos em todos os outros critérios sejam melhores. Deste modo, nunca é rejeitada a hipótese de prevalência entre dois KPIs.

Quanto aos limiares de indiferença e de preferência, foram atribuídos valores apenas a alguns critérios, como forma de despistar a indeterminação, a imprecisão ou mesmo a incerteza subjacente na avaliação das alternativas. Admite-se assim uma melhor discriminação das avaliações dos KPIs para refletir melhor a preferência do decisor.

Os valores a atribuir aos limiares variam consoante a escala de avaliação das alternativas. No número 6.3.2.5 do Capítulo 6 é proposta uma escala *Likert* com nove níveis de importância para a avaliação dos KPIs, de acordo com os critérios estipulados.

Os três primeiros critérios (C_1 , C_2 e C_3) foram considerados pelo decisor como os mais importantes para o processo de seleção dos KPIs. Para estes critérios foi atribuído um limiar de indiferença $q_j = 1$, limitando a ambiguidade de não prevalência entre dois KPIs, sempre que a diferença entre as suas avaliações for menor ou igual a “1”. Para os mesmos critérios foi também atribuído um limiar de preferência $p_j = 2$, admitindo assim que existe preferência estrita pelo KPI que apresente a melhor avaliação, sempre que a diferença entre as avaliações de dois KPIs for superior a “2”. Para os restantes critérios não foram atribuídos limiares de indiferença e de preferência, uma vez que apresentam menor relevância, refletida nos pesos determinados segundo a preferência do decisor. Segundo o decisor, estes critérios envolvem-se num contexto mais global da cultura da organização, cuja avaliação reflete maior subjetividade e, por esse motivo, prescindiu-se das restrições através de limiares.

O decisor não manifestou convicção na atribuição de limiares aos critérios. Portanto, os limiares foram definidos com base num dos exemplos demonstrativos e algumas instruções práticas para a

atribuição de limiares de discriminação abordadas em Roy *et al.* (2014). Estes autores fornecem algumas recomendações para atribuição dos limiares a utilizar no método ELECTRE, através de um exemplo ilustrativo, utilizando uma escala de avaliação discreta, similar ao presente caso de estudo. Os autores alertam também para a análise da divergência dos valores das avaliações de cada alternativa nos diferentes critérios. Roy *et al.* (2014) referem que, no caso de as divergências se notarem muito acentuadas ou, no caso de as divergências aparecerem com frequências semelhantes (ou a mesma frequência), no final, no meio ou no início da escala, os limiares devem ser constantes. Contudo, os limiares podem ser alterados como forma de perceber se alteram de forma significativa os resultados.

7.3.3. Pré-seleção dos indicadores (KPIs)

Para cada paradigma LARG foi pré-selecionado um conjunto de KPIs, como alternativas concorrentes, assumindo que todos são as melhores escolhas possíveis, para serem avaliados como relevantes através dos métodos MCDA.

No que diz respeito às fontes dos KPIs, foram pesquisados o próprio departamento de manutenção do aeroporto, a norma NP EN 15341 e literatura no âmbito da medição do desempenho da manutenção, sendo que, alguns KPIs foram desenvolvidos para este caso específico. Na literatura aparecem repetidamente os mesmos indicadores de desempenho para a manutenção. Muchiri *et al.* (2011) fornecem uma estrutura bem organizada de indicadores, identificados como elementos fundamentais para medir diferentes características da gestão da manutenção. De entre esses indicadores foram pré-selecionados os mais importantes e adequados como alternativas. Da norma NP EN 15341 foram também recolhidos os KPIs com foco nos aspetos a medir, permitindo avaliar desempenhos no âmbito LARG. O departamento de manutenção do aeroporto tem utilizado um conjunto de KPIs para medir e gerir as atividades da manutenção, dos quais, alguns foram também pré-selecionados para o presente estudo. Foram também considerados alguns KPIs que o gestor da manutenção utiliza fora do sistema de gestão da manutenção implementado (*software* CMMS *on-line*). Além disso, foram desenvolvidos alguns KPIs para fornecer a medição de parâmetros, aspetos e competências da gestão da manutenção no contexto específico do aeroporto. Em análise conjunta com o gestor da manutenção do aeroporto, os KPIs foram, na grande maioria, ajustados ao propósito a que se destinam, tendo sido necessária a adequação dos parâmetros das suas fórmulas de cálculo.

Nas quatro seguintes tabelas (7.3, 7.4, 7.5 e 7.6) são apresentados os KPIs pré-selecionados como alternativas para as quatro categorias LARG. De entre os quatro conjuntos, todos os KPIs são assumidos como possíveis e adequadas alternativas a serem incluídas na avaliação do desempenho da gestão da manutenção na respetiva categoria. Ou seja, KPIs importantes e com possível interesse para medir o desempenho da gestão da manutenção LARG.

As mesmas listas de KPIs encontram-se também no Anexo II, com a descrição e comentários dos parâmetros de cálculo, permitindo um melhor entendimento dos aspetos que quantificam.

Nas tabelas que listam os KPIs pré-selecionados, a cada categoria LARG é atribuída a respetiva sigla com o índice “ m ” que representa o número de alternativas a considerar no processo de decisão, as quais, o método ELECTRE ordenará segundo a preferência do decisor. Assim, ter-se-á para as respetivas categorias as seguintes siglas:

L_m - Conjunto de alternativas (KPIs) para a categoria *Lean*;

A_m - Conjunto de alternativas (KPIs) para a categoria *Agile*;

R_m - Conjunto de alternativas (KPIs) para a categoria *Resilient*;

G_m - Conjunto de alternativas (KPIs) para a categoria *Green*.

A Tabela 7.3 mostra o conjunto de KPIs pré-selecionados para a categoria *Lean* e que se relacionam com aspetos importantes da atividade da manutenção a controlar. É portanto um conjunto de 19 alternativas com possível interesse para medir o desempenho da gestão da manutenção na valência do conceito *Lean*.

Tabela 7.3 – Lista de KPIs propostos para a categoria *Lean* (conjunto de alternativas)

L_m	Descrição dos KPIs
1	Desvio real do orçamentado da manutenção
2	Rácio de custo manutenção/produção
3	Custo de manutenção por unidade de referência
4	Rácio de custo dos materiais de manutenção
5	Rácio de custo da manutenção corretiva/total
6	Rácio de custo da manutenção preventiva/total
7	Índice de manutenção preventiva
8	Índice de manutenção corretiva/preventiva
9	Índice de manutenção de melhoria
10	Índice de desempenho global da manutenção
11	Tempo médio de mão-de-obra por OT
12	Índice OTs solicitadas
13	Índice de OTs que excederam o tempo especificado ou previsto
14	Índice de OTs para retrabalho
15	Tempo médio de paragem para manutenção corretiva
16	Taxa de ocorrência de avaria proporcional ao ano
17	Nº de avarias por cada 1000 unidade de referência (passageiros)
18	Tempo médio de indisponibilidade operacional relacionado com manutenção
19	Índice de reclamações de clientes por causa imputada à manutenção

O conjunto de KPIs pré-selecionados para a categoria *Agile* é apresentado na Tabela 7.4. Com interesse para medir o desempenho da gestão da manutenção segundo o paradigma *Agile* foram propostas 24 possíveis alternativas.

Tabela 7.4 – Lista de KPIs propostos para a categoria *Agile* (conjunto de alternativas)

A_m	Descrição dos KPIs
1	Índice de execução das Ots de manutenção preventiva dentro do tempo especificado
2	Índice de qualidade da execução
3	Índice de OTs que excederam o tempo especificado
4	Índice de OTs para retrabalho (<i>rework</i>)
5	Índice de qualidade do planeamento
6	Capacidade de resposta do planeamento
7	Índice de qualidade da programação
8	Índice de qualidade da manutenção
9	Intensidade do planeamento
10	Índice de cumprimento na execução
11	Índice de trabalho planeado/executado
12	Índice de manutenção preventiva
13	Índice de execução de OTs de manutenção preventiva
14	Índice de recalendarização de OTs de manutenção preventiva
15	Tempo médio de encaminhamento de incidências
16	Tempo médio para diagnóstico
17	Tempo médio para assistir (MTTA - <i>Mean Time To Assist</i>)
18	Tempo médio operacional para reparar (MTTR – <i>Mean Time To Repair</i>)
19	Tempo médio de indisponibilidade operacional relacionado com manutenção
20	Índice de competências multidisciplinares
21	Índice de utilização de <i>software</i> pelo pessoal da manutenção
22	Índice de horas de formação da manutenção
23	N.º médio de horas de formação por colaborador por ano
24	Custo da formação por pessoa da manutenção

Na Tabela 7.5 é apresentado o conjunto de KPIs candidatos para a medição do desempenho da manutenção na categoria *Resilient*. Foram pré-selecionadas 26 possíveis alternativas relacionadas com a medição das capacidades de resiliência da manutenção do aeroporto, face às características próprias das infraestruturas e tipo de exploração em causa.

Tabela 7.5 – Lista de KPIs propostos para a categoria *Resilient* (conjunto de alternativas)

R_m	Descrição dos KPIs
1	Índice de acidentes de trabalho no setor da manutenção por cada 1000 unidades de referência
2	Índice de avarias com acidentes pessoais
3	Índice de risco de acidentes pessoais
4	Índice de acidentes pessoais por avaria com risco
5	Índice de ações de prevenção de acidentes pessoais e ambientais por acidente ocorrido
6	Taxa de ações de divulgação de conteúdos técnicos
7	Taxa de ações de simulação de situações disruptivas (simulacros)
8	Média de horas de mão-de-obra em manutenção corretiva de urgência
9	Tempo médio sem serviço esperando materiais ou mão-de-obra em manutenção corretiva de urgência
10	Índice manutenção corretiva de urgência
11	Tempo médio para diagnóstico
12	Tempo médio para assistir (MTTA - <i>Mean Time To Assist</i>) em situações urgentes e disruptivas
13	Tempo médio de indisponibilidade operacional relacionado com manutenção
14	Tempo médio de indisponibilidade em situações disruptivas
15	Taxa de ocorrência de avaria proporcional ao ano
16	Índice de qualidade do planeamento
17	Índice de OTs executadas com procedimentos escritos e registados
18	Índice de manutenção corretiva/preventiva
19	Índice de manutenção preventiva
20	Índice de manutenção de equipamentos, integrada por computador
21	Índice de competências multidisciplinares
22	Índice de satisfação do colaborador
23	Taxa de reuniões informativas com a gestão de topo e o pessoal da manutenção
24	Tempo médio de duração dos contratos com os fornecedores de manutenção mais importantes
25	Índice de flexibilidade na aquisição e/ou contratação de serviços de manutenção
26	Rácio de custo da manutenção disruptiva

Para a categoria *Green* foram pré-selecionadas 20 alternativas que se apresentam na Tabela 7.6. A maioria dos KPIs para a medição do desempenho da gestão da manutenção segundo o paradigma *Green* foram desenvolvidos especificamente para este caso de estudo. Embora se tenha recorrido a algumas fontes da literatura para pesquisa, nomeadamente de parâmetros importantes a medir no contexto da manutenção “verde”, as métricas foram desenvolvidas com a intenção de proporcionar a medição dos principais aspetos que se relacionam com os objetivos da gestão da manutenção do aeroporto no contexto ambiental.

Em todas as categorias houve a necessidade de desenvolver KPIs e adequar parâmetros em conformidade com o conceito da manutenção LARG.

Tabela 7.6 – Lista de KPIs propostos para a categoria *Green* (conjunto de alternativas)

G_m	Descrição dos KPIs
1	Taxa de incidentes ambientais
2	Taxa de acidentes ambientais
3	Taxa de emergências ambientais por cada 1000 unidade de referência
4	Taxa de avarias com danos ambientais causadas pela manutenção
5	Índice de avarias com danos ambientais
6	Índice de risco de danos ambientais
7	Taxa de resíduos da manutenção
8	Taxa de resíduos sólidos e líquidos recicláveis
9	Taxa de resíduos sólidos e líquidos não recicláveis
10	Consumo de água por unidade de referência
11	Consumo de energia por unidade de referência
12	Emissões de gases para a atmosfera por unidade de referência
13	Índice de materiais reciclados ou reutilizados
14	Índice de utilização de produtos ecologicamente aconselhados
15	Índice de utilização dos meios de proteção ambiental
16	Índice de prevenção de acidentes ambientais
17	Rácio económico de reciclagem
18	Taxa de custo das ações prevenção de impacto ambiental
19	Rácio de custo de formação sobre temas ambientais
20	Taxa de penalidades ambientais

A pré-seleção dos KPIs consistiu fundamentalmente na identificação e adequação de métricas pertinentes e reveladoras do desempenho da gestão da manutenção face aos objetivos traçados. Assume-se que todos estes KPIs podem contribuir para a análise e correção de desvios técnicos e funcionais da manutenção e podem auxiliar no estabelecimento de novas estratégias e objetivos.

Segundo Kumar *et al.* (2013a), como citado em Gonçalves *et al.* (2014b), o cérebro humano só pode lidar com quatro a oito medições destinadas a quantificar um aspeto. Um elevado número de KPIs pode gerar confusão e dificultar a interpretação de sintomas da manutenção. Os KPIs a selecionar deverão ser aqueles que melhor revelam o desempenho da gestão da manutenção no cumprimento dos objetivos estabelecidos para os aspetos importantes.

O gestor da manutenção tem dificuldade em estabelecer julgamentos de preferência estrita, devido ao grande número de alternativas. As perguntas fundamentais são: "Que KPIs devem ser selecionados para atender às necessidades de medição da gestão da manutenção LARG?" e "Quantos KPIs devem ser selecionados em cada categoria para ajudar o gestor da manutenção?". Com a intenção de auxiliar o gestor da manutenção nessa tarefa difícil, a metodologia propõe a ordenação dos KPIs por ordem da sua preferência, através dos métodos ELECTRE, de apoio multicritério à decisão. Para tal, o próximo passo é a avaliação das alternativas pré-selecionadas.

7.3.4. Avaliação dos KPIs

Previamente à avaliação dos KPIs, a importância dos KPIs foi analisada com dois especialistas em gestão da manutenção convidados a participar. A intenção foi discutir a importância de cada KPI para medir os aspetos fundamentais do desempenho da gestão da manutenção e elucidar o decisor sobre os principais interesses numa avaliação de desempenho, integrando o novo conceito LARG.

A avaliação dos KPIs pré-selecionados em função dos critérios foi realizada pelo gestor da manutenção do aeroporto. Para a avaliação, foi utilizada a escala *Likert* apresentada na Tabela 6.1. O decisor pôde expressar a sua opinião sobre cada KPI em relação a cada critério com os termos linguísticos definidos pela escala e atribuir a intensidade da importância correspondente. Desta forma o decisor avaliou cada alternativa especificando o seu nível de concordância com relação aos diferentes critérios.

A avaliação dos KPIs, ou seja, os desempenhos das alternativas para cada categoria LARG de acordo com os cinco critérios, são apresentados nas quatro seguintes tabelas (7.7, 7.8, 7.9 e 7.10).

A Tabela 7.7 mostra a avaliação dos KPIs da categoria *Lean* realizada pelo gestor da manutenção. Ou seja, os desempenhos atribuídos pelo decisor ao conjunto de alternativas pré-selecionadas e anteriormente apresentadas na Tabela 7.3 do número anterior, neste capítulo.

Tabela 7.7 – Avaliação dos KPIs para a categoria *Lean* (desempenho das alternativas)

Alternativas	Critérios				
	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5
L_m					
1	6	5	9	5	2
2	8	3	8	8	3
3	5	8	8	8	6
4	3	7	5	3	1
5	9	9	7	3	1
6	3	5	9	3	1
7	7	5	9	3	1
8	9	7	7	3	1
9	7	6	9	9	5
10	9	8	9	5	1
11	5	8	7	3	1
12	5	5	9	8	2
13	8	9	5	4	7
14	9	7	8	3	4
15	7	9	4	2	5
16	8	2	7	7	2
17	7	7	8	8	5
18	8	8	9	9	7
19	5	7	8	8	9

A Tabela 7.8 apresenta a avaliação dos KPIs da categoria *Agile*. A avaliação representa o desempenho das alternativas, face aos critérios considerados, que o gestor da manutenção expressou consoante a sua preferência através de níveis de intensidade de importância. O decisor avaliou o conjunto de alternativas pré-selecionadas e anteriormente apresentadas na Tabela 7.4 do número anterior, neste capítulo.

Tabela 7.8 – Avaliação dos KPIs para a categoria *Agile* (desempenho das alternativas)

Alternativas	Critérios				
	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5
A_m					
1	9	8	5	3	2
2	6	9	5	3	1
3	6	9	4	2	3
4	7	8	8	4	2
5	7	7	6	2	2
6	9	8	5	2	1
7	8	9	8	4	5
8	4	8	7	3	1
9	3	9	8	3	1
10	4	8	6	2	1
11	6	8	5	2	1
12	5	6	8	3	1
13	4	5	8	7	2
14	9	9	8	4	1
15	9	7	8	3	3
16	8	9	7	3	4
17	8	9	8	3	4
18	6	8	7	7	2
19	5	5	8	3	1
20	8	4	8	6	1
21	5	3	7	2	1
22	4	4	8	5	1
23	3	4	8	5	1
24	3	3	7	4	1

A avaliação dos KPIs para a categoria *Resilient*, realizada pelo gestor da manutenção, é apresentada na Tabela 7.9. A tabela mostra os valores correspondentes aos desempenhos do conjunto de alternativas pré-selecionadas e anteriormente apresentadas na Tabela 7.5 do número anterior, neste capítulo.

Na Tabela 7.10 é apresentada a avaliação dos KPIs da categoria *Green*, que, tal como para as categorias anteriores, o gestor da manutenção avaliou utilizando a escala *Likert* com nove níveis de intensidade de importância. O decisor avaliou o conjunto de alternativas pré-selecionadas e já apresentadas na Tabela 7.6 do número anterior, neste capítulo.

Tabela 7.9 – Avaliação dos KPIs para a categoria *Resilient* (desempenho das alternativas)

Alternativas	Critérios				
	R_m	C_1	C_2	C_3	C_4
1	7	8	7	3	1
2	5	9	8	7	7
3	5	5	8	6	5
4	7	3	8	4	3
5	9	4	7	3	2
6	5	8	4	2	1
7	9	3	5	7	7
8	9	7	6	4	2
9	8	4	8	4	4
10	8	8	9	3	1
11	9	3	8	3	2
12	8	6	8	8	5
13	4	8	7	7	4
14	9	4	8	9	7
15	5	4	8	8	2
16	4	7	6	4	1
17	3	6	8	3	1
18	2	7	8	4	1
19	2	6	8	3	1
20	8	7	9	8	1
21	9	4	8	6	1
22	2	8	7	3	2
23	3	6	5	9	2
24	6	4	8	6	5
25	5	6	8	8	2
26	5	5	7	8	2

Tabela 7.10 – Avaliação dos KPIs para a categoria *Green* (desempenho das alternativas)

Alternativas	Critérios				
	G_m	C_1	C_2	C_3	C_4
1	7	4	5	7	6
2	9	6	6	8	7
3	8	7	8	6	7
4	7	8	8	5	4
5	9	4	7	8	5
6	6	5	7	8	3
7	8	3	8	4	2
8	5	3	6	7	2
9	5	3	6	7	2
10	4	5	6	9	4
11	9	4	8	8	7
12	5	3	7	8	4
13	4	7	7	3	1
14	5	4	7	3	6
15	7	8	6	3	2
16	6	3	8	9	6
17	2	3	8	6	1
18	7	3	6	6	2
19	5	4	6	5	2
20	3	3	7	8	2

7.3.5. Ordenação dos KPIs

Através da aplicação informática em VBA com a implementação do método ELECTRE I e o cálculo dos valores de concordância líquida (NC) e de discordância líquida (ND), foram geradas as ordenações das alternativas. Os resultados proporcionados pela aplicação informática são ordenações descendentes dos KPIs segundo o valor alcançado na concordância líquida.

Esta metodologia, proposta pela primeira vez em Gonçalves *et al.* (2014a), permitiu a ordenação dos KPIs pré-selecionados, de acordo com as preferências do decisor. A partir da análise por comparação dos resultados calculados, tendo em conta a ordenação por concordância versus discordância, pode ser selecionado um conjunto de KPIs relevantes para cada categoria LARG.

A ordenação de preferência (*Rank C*), com base na concordância líquida, dos KPIs candidatos à categoria *Lean*, é dada na Tabela 7.11, onde os KPIs são apresentados por ordem descendente do valor NC.

Tabela 7.11 – Ordenação dos KPIs para a categoria *Lean* através do método ELECTRE I

Alternativas	Valores Líquidos		Ordenação	
	NC_m	ND_m	<i>Rank C</i>	<i>Rank D</i>
18	10,6117	-15,8082	1	1
10	9,0125	-9,0973	2	2
9	4,2579	-7,4849	3	3
15	3,9212	-6,9936	4	4
5	3,7289	-5,1239	5	6
13	2,7831	-3,5429	6	7
17	1,5760	-6,5590	7	5
16	0,5858	-0,1384	8	10
8	0,3145	-0,7826	9	9
2	0,2640	0,8500	10	11
19	-0,8500	-2,9010	11	8
1	-1,2389	5,3523	12	15
12	-1,7282	4,6084	13	14
7	-1,8082	4,0187	14	13
14	-3,1458	3,9619	15	12
3	-3,5517	6,3133	16	17
11	-6,1733	6,2920	17	16
6	-6,9826	12,3218	18	18
4	-11,5769	14,7136	19	19

A partir da análise da Tabela 7.11, poder-se á constatar que a ordenação “*Rank C*” segundo os valores líquidos de concordância, embora com algumas desigualdades relativamente à classificação obtida segundo os valores líquidos de discordância (*Rank D*), não apresenta diferenças muito significativas. As 11 primeiras classificações contêm as mesmas alternativas. Assim, assume-se que os 11 KPIs melhor classificados com a preferência do decisor não apresentam a sua insatisfação para a respetiva integração na categoria *Lean* do modelo.

A Tabela 7.12 mostra a ordenação dos KPIs candidatos à categoria *Agile*. A ordenação das 24 alternativas é apresentada segundo a ordem decrescente dos valores alcançados na concordância líquida (NC).

Tabela 7.12 – Ordenação dos KPIs para a categoria *Agile* através do método ELECTRE I

Alternativas	Valores Líquidos		Ordenação	
	NC_m	ND_m	Rank C	Rank D
7	13,7052	-19,1570	1	1
14	13,6260	-13,6731	2	3
17	11,8339	-15,1064	3	2
15	9,1897	-13,2749	4	4
4	7,6460	-9,0172	5	7
16	7,4632	-12,2307	6	5
20	4,9109	-5,3864	7	9
18	2,8385	-11,9262	8	6
1	2,8317	-7,7274	9	8
13	-0,5194	-1,6972	10	11
6	-0,5830	-4,2275	11	10
9	-1,2623	6,9084	12	17
2	-2,1839	4,1351	13	13
12	-2,2831	4,7576	14	14
19	-2,9233	8,7366	15	19
3	-3,2481	5,8135	16	15
22	-3,8734	7,4551	17	18
5	-3,9534	2,5177	18	12
23	-6,1372	11,9119	19	22
8	-6,3568	6,1175	20	16
11	-7,0510	9,3048	21	20
10	-10,0360	11,6124	22	21
21	-11,3075	15,9850	23	23
24	-12,3267	18,1683	24	24

Pelo que se pode constatar pela análise dos resultados (Tabela 7.12) da aplicação do método ELECTRE I na ordenação das alternativas para a categoria *Agile*, também as 11 melhores classificações com base nos valores NC não apresentam diferenças significativas, comparada com a classificação fornecida pela ordenação ascendente do valor ND. Portanto, também para a categoria *Agile* se consideraram admissíveis os 11 KPIs melhor classificados com evidência na concordância do decisor e cuja discordância não manifesta insatisfação para a respetiva integração na categoria do modelo de avaliação LARG.

Na Tabela 7.13 é apresentada a ordenação dos KPIs candidatos à categoria *Resiliente*. Os KPIs encontram-se também por ordem decrescente dos valores obtidos pelo cálculo da concordância líquida (NC). Ao serem confrontadas as ordenações proporcionadas pela metodologia aplicada, verifica-se uma maior irregularidade nas classificações, comparativamente aos resultados conseguidos para as categorias *Lean* e *Agile*. A classificação dos KPIs pela ordem decrescente do valor NC (*Rank C*) é diferente da classificação pela ordem ascendente do valor ND (*Rank D*), para quase todas as alternativas.

Tabela 7.13 – Ordenação dos KPIs para a categoria *Resilient* através do método ELECTRE I

Alternativas	Valores Líquidos		Ordenação	
	NC_m	ND_m	Rank C	Rank D
20	12,2949	-13,9697	1	3
14	10,4028	-15,4102	2	2
10	9,9553	-12,2350	3	4
12	9,0079	-17,9453	4	1
2	8,4375	-11,8179	5	5
21	4,5395	-6,2059	6	7
8	3,3477	-11,4188	7	6
9	2,6463	-4,2917	8	10
25	2,4599	0,0306	9	14
11	1,4865	-2,5558	10	12
24	1,1421	3,1863	11	15
3	0,5855	4,1656	12	16
15	-0,7411	8,6959	13	20
1	-0,9836	-6,1736	14	8
7	-1,1103	-4,6400	15	9
13	-1,2038	-1,0513	16	13
4	-1,4571	5,5772	17	17
5	-1,4778	-3,4113	18	11
26	-3,9188	6,3084	19	18
18	-5,2475	12,8235	20	25
17	-7,0547	12,8034	21	24
23	-8,2568	9,5917	22	21
22	-8,3418	12,0295	23	23
19	-8,6717	18,2503	24	26
6	-8,8194	7,9178	25	19
16	-9,0215	9,7464	26	22

Para esta categoria foram pré-selecionadas 26 alternativas, um número ligeiramente superior ao das categorias precedentes. Por um lado, poder-se-á admitir que as avaliações do decisor possam ter sido mais dispersas quanto ao nível de intensidade de importância com que avaliou as alternativas nos diferentes critérios. O decisor, face ao elevado número de alternativas, pode-se ter expressado de forma divergente, pretendendo diferenciar com mais evidência a sua preferência por determinados KPIs, através apenas de alguns critérios. Por outro lado, admite-se também que esta metodologia nem sempre fornece resultados consistentes de forma a permitir a decisão convicta na seleção das alternativas mais relevantes.

Perante o exposto, a partir da análise de sensibilidade, não se verifica robustez nos resultados obtidos. No entanto, para o estudo em causa, poder-se-á admitir que os 10 KPIs melhor classificados pela ordenação dos valores líquidos da concordância possam ser integrados na categoria *Resilient* do modelo de avaliação de desempenho da gestão da manutenção LARG. Note-se que até à oitava melhor classificação segundo o “Rank C”, as diferenças não são muito significativas em relação à classificação segundo o “Rank D”.

A Tabela 7.14 mostra a ordenação dos KPIs propostos para a categoria *Green*. Foram pré-selecionadas 20 alternativas que a tabela apresenta segundo a ordem descendente dos valores obtidos pelo cálculo da concordância líquida (NC).

Tabela 7.14 – Ordenação dos KPIs para a categoria *Green* através do método ELECTRE I

Alternativas	Valores Líquidos		Ordenação	
	G_m	NC_m	ND_m	$Rank C$
11	11,9372	-12,2597	1	4
3	11,2149	-14,6251	2	1
4	8,3704	-12,5941	3	2
5	8,0440	-8,8397	4	5
2	7,6437	-12,4447	5	3
16	4,1828	-2,2303	6	8
6	3,3936	-4,1633	7	7
7	2,5633	-1,8859	8	9
15	0,0962	-7,5315	9	6
1	-1,7170	1,1637	10	11
14	-2,7775	7,2590	11	15
12	-2,8150	4,5239	12	14
10	-3,1507	3,4757	13	13
13	-4,6103	0,9426	14	10
18	-4,8022	2,5311	15	12
19	-6,8587	9,4963	16	16
20	-7,0186	12,7859	17	19
17	-7,1869	13,4260	18	20
8	-8,2546	10,4851	20	18
9	-8,2546	10,4851	20	18

Os resultados das classificações obtidas para a categoria *Green*, segundo o “*Rank C*” e “*Rank D*”, não são significativamente diferentes. Contudo, verificam-se discordâncias mais acentuadas a partir da décima primeira melhor classificação segundo a ordem descendente do valor NC.

Consideram-se admissíveis os 10 KPIs melhor classificados com a preferência do gestor da manutenção, evidenciada pelos valores NC alcançados, e, cujos valores ND, não expressam a sua maior discordância para integrarem o conjunto de indicadores na categoria *Green* do modelo de avaliação LARG.

Numa breve análise, poder-se-á concluir que através do método ELECTRE I foi possível ordenar conjuntos de KPIs relevantes para a gestão da manutenção LARG do aeroporto. Porém, é necessária ainda a análise de sensibilidade, no sentido de averiguar se esses KPIs permitem a medição da plenitude dos objetivos, ajustar e selecionar aqueles que realmente têm interesse para a avaliação do desempenho da gestão da manutenção no âmbito LARG. Verificou-se alguma falta de robustez nos resultados obtidos com a utilização do método ELECTRE I, o que pode afetar a convicção do gestor da manutenção na seleção dos KPIs. Por esse motivo, julga-se ser mais adequado recorrer à utilização do método ELECTRE III, também proposto pela metodologia desenvolvida. Desta forma, poder-se-ão comparar os resultados obtidos pelos dois métodos, estabelecer conclusões e optar pela solução mais credível e que maior robustez demonstre nos resultados. Note-se que os métodos de apoio multicritério à decisão são utilizados como ferramenta para ajudar o gestor da manutenção na seleção dos KPIs a integrar no modelo LARG proposto.

O ELECTRE III é um método específico para a ordenação de alternativas e pode utilizar limiares para melhor discriminação dos desempenhos das alternativas. Como ferramenta informática com a implementação do método ELECTRE III, foi utilizado o *software* ELECTRE III-IV, cujo desenvolvimento e manual de utilização podem ser consultados em Dias *et al.* (2006).

Os resultados obtidos pelo método ELECTRE III são apresentados segundo a opção de ordenação mediana, fornecendo uma ordenação decrescente das alternativas e desprezando as incomparabilidades. Portanto, os conjuntos de KPIs das categorias LARG apresentam-se em ordem decrescente, refletindo a preferência do decisor e sem a necessidade de análises extra, relativamente à prevalência das alternativas por comparação entre valores de concordância e de discordância. Porém, realizaram-se duas ordenações para cada conjunto de KPIs. Uma ordenação sem a influência de limiares de discriminação e outra utilizando limiares para os critérios C_1 , C_2 e C_3 , já definidos na Secção 7.3.1.1 deste capítulo. Desta forma, pretendeu-se fornecer a perceção da influência dos limiares no processo de decisão.

As quatro seguintes tabelas (7.15, 7.16, 7.17 e 7.18) apresentam os resultados da ordenação dos KPIs das diferentes categorias LARG, obtidos através da aplicação do método ELECTRE III. Nestas tabelas são também confrontados os resultados da ordenação dos KPIs correspondente à ordem descendente dos valores líquidos de concordância obtidos através do método ELECTRE I. Assim, podem ser facilmente comparados os resultados de ordenação obtidos pelos dois métodos.

A Tabela 7.15 apresenta as ordenações dos KPIs a integrar na categoria *Lean*, através do método ELECTRE III. Esses resultados são, tal como já referido anteriormente, confrontados com os obtidos pelo método ELECTRE I.

Tabela 7.15 – Ordenação dos KPIs para a categoria *Lean* através do método ELECTRE III

Rank	Ordenação L_m		
	ELECTRE I	ELECTRE III	
	Por NC_m	Sem limiares	Com limiares
1	18	18	18
2	10	10	17
3	9	5	10
4	15	9	14
5	5	13	9
6	13	14	3
7	17	17	5
8	16	3	19
9	8	2	13
10	2	19	8
11	19	1	2
12	1	8	1
13	12	12	15
14	7	15	12
15	14	7	7
16	3	16	16
17	11	11	11
18	6	6	6
19	4	4	4

Face à sua especificidade para a ordenação de alternativas, ao facto de estabelecer relações de prevalência difusa e porque permite recorrer a limiares de discriminação dos desempenhos das alternativas, o ELECTRE III é o método aconselhável para o presente caso de estudo. Este método permite uma melhor exploração das preferências do gestor da manutenção e atribui maior credibilidade às ordenações geradas. O gestor da manutenção pode no processo de decisão, sentir maior convicção para a seleção das alternativas com melhor classificação.

A leitura da Tabela 7.15 permite concluir que, embora as três ordenações não tenham fornecido a mesma ordem dos KPIs, nas 10 primeiras classificações encontram-se praticamente os mesmos KPIs. Existem, contudo, algumas divergências. Os 10 KPIs selecionados estão sombreados.

A Tabela 7.16 apresenta duas ordenações dos KPIs a integrar na categoria *Agile*, através do método ELECTRE III, sem e com limiares. Na tabela é também apresentada a ordenação obtida pelo método ELECTRE I.

Tabela 7.16 – Ordenação dos KPIs para a categoria *Agile* através do método ELECTRE III

Rank	Ordenação A_m		
	ELECTRE I	ELECTRE III	
	Por NC_m	Sem limiares	Com limiares
1	7	14	7
2	14	7	16
3	17	17	17
4	15	15	14
5	4	16	15
6	16	4	4
7	20	1	18
8	18	18	1
9	1	9	13
10	13	6	20
11	6	20	6
12	9	12	5
13	2	13	9
14	12	19	2
15	19	2	8
16	3	5	12
17	22	8	3
18	5	3	11
19	23	10	19
20	8	22	22
21	11	11	21
22	10	23	23
23	21	21	10
24	24	24	24

Através da confrontação das diferentes ordenações exibidas na Tabela 7.16 poder-se-á concluir que, embora as três ordenações não tenham a mesma ordem dos KPIs, nas 10 primeiras classificações encontram-se praticamente os mesmos KPIs. Apenas os KPIs A_{13} e A_{20} não se encontram entre os 10 melhores classificados quando o método ELECTRE III foi aplicado sem o

uso dos limiares. Os 10 KPIs selecionados para integrar na categoria *Agile* encontram-se sombreados.

A Tabela 7.17 apresenta duas ordenações dos KPIs candidatos a integrar na categoria *Resilient*, obtidas através do método ELECTRE III, sem e com limiares, respetivamente. Na tabela é também apresentada a ordenação obtida pelo método ELECTRE I.

Tabela 7.17 – Ordenação dos KPIs para a categoria *Resilient* através do método ELECTRE III

Rank	Ordenação R_m		
	ELECTRE I	ELECTRE III	
	Por NC_m	Sem limiares	Com limiares
1	20	20	20
2	14	2	12
3	10	14	2
4	12	12	14
5	2	10	13
6	21	21	10
7	8	8	8
8	9	25	1
9	25	13	9
10	11	1	25
11	24	7	21
12	3	18	3
13	15	11	11
14	1	3	7
15	7	9	24
16	13	24	5
17	4	5	4
18	5	4	22
19	26	17	26
20	18	6	16
21	17	26	23
22	23	22	15
23	22	15	6
24	19	23	18
25	6	16	17
26	16	19	19

Embora as ordenações na Tabela 7.17 não apresentem a mesma ordem, nas 10 primeiras classificações encontram-se maioritariamente os mesmos KPIs. Os KPIs R_1 e R_{13} não se encontram entre os 10 melhor classificados segundo a ordenação obtida pelo método ELECTRE I. Também o KPI R_9 não se encontram entre os 10 melhor classificados segundo a ordenação obtida pelo método ELECTRE III sem a utilização de limiares.

A Tabela 7.18 apresenta duas ordenações dos KPIs a integrar na categoria *Green*, através do método ELECTRE III, sem e com limiares de discriminação. Da mesma forma que para as categorias antecedentes, na tabela é também apresentada a ordenação obtida pelo método ELECTRE I.

Tabela 7.18 – Ordenação dos KPIs para a categoria *Green* através do método ELECTRE III

Rank	Ordenação G_m		
	ELECTRE I	ELECTRE III	
	Por NC_m	Sem limiares	Com limiares
1	11	11	3
2	3	3	11
3	4	4	4
4	5	2	2
5	2	5	5
6	16	7	16
7	6	16	15
8	7	6	6
9	15	15	7
10	1	1	1
11	14	13	13
12	12	14	10
13	10	18	12
14	13	10	18
15	18	12	14
16	19	19	8
17	20	17	9
18	17	20	19
19	8	8	17
20	9	9	20

Em todas as ordenações de KPIs estabelecidas para a categoria *Green* (Tabela 7.18), ainda que não apresentem a mesma ordem, as 10 primeiras classificações contemplam exatamente os mesmos indicadores. Ou seja, as ordenações fornecidas pelo método ELECTRE I e pelo método ELECTRE III (com e sem limiares) compreendem os mesmos KPIs, embora tenham obtido classificações distintas.

O ELECTRE III mostra ser um método mais ajustado para a seleção dos KPIs, permite discriminar a imprecisão e/ou incerteza das avaliações do decisor e, desta forma, permite também diminuir a subjetividade inerente ao processo de decisão.

7.3.6. Seleção dos KPIs

Entendeu-se que dez (10) seria o número máximo e razoável de KPIs para medir o desempenho da gestão da manutenção em cada categoria LARG. A intenção é a de não sobrecarregar o modelo de avaliação com demasiada informação e que possa perturbar a compreensão na análise e percepção do desempenho da atividade da manutenção. Porém, o gestor da manutenção pode recorrer a outros indicadores para analisar e clarificar os fenómenos da atividade da manutenção que evidenciem a necessidade de um estudo mais abrangente, sem que esses indicadores interfiram diretamente na avaliação global LARG. Entendeu-se também que não deve existir a repetibilidade de KPIs na avaliação, isto é, não devem ser integrados KPIs iguais nas distintas categorias. Os KPIs que porventura são classificados como relevantes em mais do que uma categoria LARG, devem ser integrados apenas numa categoria. Nestes casos, a integração deve

perfezer-se, consoante a sua melhor aptidão para a perceção e avaliação de desempenhos no contexto dos paradigmas em causa e na orientação dos objetivos da gestão da manutenção na organização.

Tal como já referido no número anterior, foi assumido que as ordenações de KPIs geradas através do método ELECTRE III refletem melhor a preferência do gestor da manutenção. Partindo desse pressuposto, as 10 melhores classificações em cada categoria LARG e ordenadas pelo método ELECTRE III com recurso aos limiares de discriminação, foram integradas nas respetivas categorias. Nos casos em que se verificou a repetição de KPIs em diferentes categorias apelou-se à análise e intuição do gestor da manutenção, no sentido de evidenciar a melhor adequação na integração das métricas, relacionando os aspetos da manutenção medidos, os objetivos definidos e o conceito intrínseco de cada paradigma do modelo de gestão da manutenção LARG. É importante que cada KPI contribua para a verificação do cumprimento dos objetivos definidos, que cubram os principais aspetos que se pretendem medir e que permitam valorizar o desempenho global da gestão da manutenção LARG, integrados na categoria para a qual melhor preenchem os requisitos concetuais.

A Tabela 7.19 lista os KPIs selecionados para a medição do desempenho da gestão da manutenção no contexto do paradigma *Lean*. As duas colunas à esquerda da tabela conferem a ordem em que cada KPI foi classificado e a identificação numérica detida enquanto alternativa a ser selecionada para o modelo LARG. A coluna à direita da descrição dos KPIs apresenta a codificação atribuída a cada KPI integrado no modelo LARG.

Nos comentários que se seguem nesta secção, de análise aos KPIs selecionados para o modelo LARG, as siglas e índices (*m*) associados aos KPIs referem-se à sua identificação detida enquanto alternativa, ou seja, ao conjunto de KPIs pré-selecionados para cada categoria LARG.

Tabela 7.19 – Seleção dos KPIs para a categoria *Lean*

Rank	L_m	Descrição dos KPIs	KPI (L_n)
6	3	Custo da manutenção por unidade de referência	L1
7	5	Rácio de custo da manutenção corretiva/total	L2
10	8	Índice de manutenção corretiva/preventiva	L3
5	9	Índice de manutenção de melhoria	L4
3	10	Índice de desempenho global da manutenção	L5
9	13	Índice de OTs que excederam o tempo especificado ou previsto	L6
4	14	Índice de OTs para retrabalho	L7
2	17	Nº de avarias por unidade de referência	L8
1	18	Tempo médio de indisponibilidade operacional relacionado com manutenção	L9
8	19	Índice de reclamações de clientes por causa imputada à manutenção	L10

A Tabela 7.19 expõe um padrão equilibrado de 10 KPIs selecionados, com a preferência do decisor, para a avaliação de desempenho da gestão da manutenção da estrutura do aeroporto de acordo com o paradigma *Lean*.

Com os referidos KPIs são medidos aspetos essenciais relacionados com os principais objetivos da manutenção, já expostos na Secção 7.3.1, tais como: o custo total da manutenção relacionado com o número de passageiros; a percentagem do custo da manutenção corretiva relativamente ao custo total; a proporção de horas de mão-de-obra consumidas em manutenção corretiva comparativamente ao número de horas de mão-de-obra empregues em manutenção preventiva; a percentagem de horas de mão-de-obra dedicadas à manutenção de melhoria; a taxa de ocupação do pessoal da manutenção; a percentagem de ordens de trabalho que excedem o tempo especificado para as tarefas da manutenção; a percentagem de ações de manutenção que necessitem de retrabalho; o número de avarias ocorridas relacionado com o número de passageiros; a indisponibilidade dos ativos físicos para a operação, relacionado com ações de manutenção; e a insatisfação dos clientes relacionada com causas imputadas à manutenção.

O KPI L_{14} , “Índice de OTs para retrabalho”, classificado na 4ª posição e o KPI L_{18} , “Tempo médio de indisponibilidade operacional relacionado com manutenção”, classificado na 1ª posição para a categoria *Lean*, foram também selecionados para as categorias *Agile* e *Resilient*, respetivamente. A não integração destes KPIs nas referidas categorias deve-se ao facto dos aspetos medidos ser mais adequado ao conceito do paradigma *Lean*.

A Tabela 7.20 lista os KPIs selecionados para a medição do desempenho da gestão da manutenção e integrados na categoria *Agile*.

Tabela 7.20 – Seleção dos KPIs para a categoria *Agile*

Rank	A_m	Descrição dos KPIs	KPI (A_n)
8	1	Índice de execução das Ots de manutenção preventiva dentro do tempo especificado	A1
1	7	Índice de qualidade da programação	A2
9	13	Índice de execução de OTs de manutenção preventiva	A3
4	14	Índice de recalendarização de OTs de manutenção preventiva	A4
5	15	Tempo médio de encaminhamento de incidências	A5
2	16	Tempo médio para diagnóstico	A6
7	18	Tempo médio operacional para reparar (MTTR – <i>Mean Time To Repair</i>)	A7
10	20	Índice de competências multidisciplinares	A8

A Tabela 7.20 apresenta apenas um conjunto de 8 KPIs integrados na categoria *Agile*. Embora com a preferência do gestor da manutenção também tenham sido selecionados 10 KPIs a integrar a categoria *Agile*, dois dos quais foram repetidamente selecionados para outras categorias.

O KPI A_{17} , “Tempo médio para assistir”, classificado na 3ª posição, foi integrado na categoria *Resilient*, uma vez que também foi selecionado nesse paradigma e visto que o aspeto medido relaciona-se com alguma evidência com as características de resiliência e capacidade de resposta na manutenção em situações disruptivas. Para uma manutenção resiliente requerem-se tempos de assistência baixos. Contudo, também segundo o paradigma *Agile*, a manutenção requer rapidez para assistir às ocorrências.

Por sua vez, o KPI A_4 , “Índice de OTs para retrabalho”, classificado na 6ª posição, foi integrado na categoria *Lean*. Este KPI foi também selecionado na categoria *Lean*. Sendo o aspeto medido, relacionado com o desperdício de tempo e com a qualidade do trabalho executado pela manutenção, a sua agregação é mais ajustada segundo o conceito do paradigma *Lean*.

Os KPIs considerados relevantes e integrados na categoria *Agile* asseguram a medição do desempenho da gestão da manutenção em aspetos essenciais relacionados com os principais objetivos da manutenção, tais como: a percentagem das ações de manutenção preventiva executadas dentro do tempo programado; a percentagem de ações de manutenção preventiva que atrasaram devido a falta de recursos (material e humano); a percentagem do cumprimento das ações de manutenção preventiva planeadas; a percentagem de ações de manutenção preventiva recalendarizadas por falta de agilidade da manutenção; o tempo médio que a manutenção delonga no encaminhamento das equipas de manutenção para a reparação de avarias; o tempo médio para a reparação de avarias; e a percentagem do pessoal da manutenção com competência multidisciplinares de capacidade técnica que contribuem para a agilidade da manutenção.

Visto o conjunto de KPIs para medir o desempenho na agilidade da manutenção ter reduzido, poder-se-ia ter optado por integrar outros indicadores, nomeadamente, aqueles com classificação imediata à posição 10 na ordenação apresentada pela Tabela 7.16. Porém, verifica-se que os 8 KPIs são os suficientes por assegurarem os principais aspetos de agilidade requeridos na manutenção e, por outro lado, pelo facto de o decisor não ter encontrado evidências na inclusão de outros KPIs.

Na Tabela 7.21 são listados os KPIs selecionados para a medição do desempenho da gestão da manutenção no contexto do paradigma *Resilient*.

Tabela 7.21 – Seleção dos KPIs para a categoria *Resilient*

Rank	R_m	Descrição dos KPIs	KPI(R_n)
8	1	Índice de acidentes de trabalho no setor da manutenção por unidade de referência	R1
3	2	Índice de avarias com acidentes pessoais	R2
7	8	Média de horas de mão-de-obra em manutenção corretiva de urgência	R3
9	9	Tempo médio sem serviço esperando materiais ou mão-de-obra em manutenção corretiva de urgência	R4
6	10	Índice manutenção corretiva de urgência	R5
2	12	Tempo médio para assistir (MTTA - <i>Mean Time To Assist</i>)	R6
4	14	Tempo médio de indisponibilidade em situações disruptivas	R7
1	20	Índice de manutenção de equipamentos, integrada por computador	R8
10	25	Índice de flexibilidade na aquisição e/ou contratação de serviços de manutenção	R9

A Tabela 7.21 apresenta apenas um conjunto de 9 KPIs integrados na categoria *Resilient*. Embora inicialmente também tenham sido selecionados 10 KPIs a integrar nesta categoria, um dos indicadores foi repetidamente selecionado para a categoria *Lean*. O KPI R_{13} , “Tempo médio de

indisponibilidade operacional relacionado com manutenção”, classificado na 5ª posição, foi também selecionado e já integrado na categoria *Lean*. Este KPI revela ser mais indicado para a avaliação de desempenho segundo o conceito do paradigma *Lean*, pois relaciona-se com bastante evidência com a fiabilidade e disponibilidade dos ativos em tempo requerido para a operação.

O KPI R_{12} , “Tempo médio para assistir” classificado na 2ª posição foi também selecionado para a categoria *Agile*. Contudo, foi integrado na categoria *Resilient*, visto o aspeto medido ser mais adequado ao conceito deste paradigma. Todavia, para que o KPI se relacione com mais evidência com a capacidade de resiliência da manutenção, nomeadamente em situações disruptivas, o seu título foi alterado para “Tempo médio para assistir em situações urgentes e disruptivas”. A formulação do KPI foi também adequada ao que se pretende medir. Assim, são apenas introduzidos dados de tempos e número de incidências relacionados com situações urgentes e disruptivas da operacionalidade do aeroporto.

Embora o conjunto de KPIs integrados na categoria *Resilient* tenha reduzido, optou-se também por não recorrer à integração de outro KPI. Também para esta categoria não se encontrou extrema necessidade de novas métricas, visto estarem contempladas as medições essenciais face aos aspetos e capacidade de resiliência da manutenção do aeroporto.

Os KPIs integrados na categoria *Resilient* permitem a medição de aspetos essenciais relacionados com os objetivos e a resiliência da manutenção, tais como: a relação do número de acidentes de trabalho com o número de passageiros; a percentagem de avarias que provoca acidentes de trabalho; a média de horas de mão-de-obra que a manutenção utiliza nas ações corretivas de urgência; o tempo que em média os serviços esperam por materiais e/ou pessoal em ações de manutenção corretiva de urgência; a percentagem de horas de mão-de-obra em manutenção corretiva de urgência relacionada com o total de manutenção corretiva; o tempo que em média a manutenção necessita para iniciar reparações em situações urgentes e disruptivas; o tempo que em média a manutenção não garante a disponibilidade dos ativos em situações disruptivas; a percentagem de equipamentos com informação técnica para a manutenção, integrada por computador; e a flexibilidade na aquisição e/ou contratação ocasional de serviços de manutenção, relacionando o número de contratos com o número de prestadores de serviços de manutenção.

A Tabela 7.22 lista os 10 KPIs selecionados para a medição do desempenho da gestão da manutenção e integrados na categoria *Green*.

Os KPIs selecionados para a categoria *Green* permitem a medição de aspetos essenciais relacionados com os objetivos e a integração ambiental das práticas da manutenção, tais como: as taxas mensais de incidentes e acidentes ambientais; as emergências ambientais em que a manutenção se envolveu relacionada com o número de passageiros; a taxa mensal de avarias com danos ambientais por causas imputadas à manutenção; a percentagem de avarias que provocaram danos ambientais; a percentagem de avarias ocorridas que poderiam ter provocado danos ambientais; a taxa mensal de resíduos resultantes das atividades da manutenção; o consumo energético de toda a estrutura do aeroporto relacionado com o número de passageiros; a

percentagem de utilização de meios de proteção ambiental face às atuações que requerem ou exigem esses meios de proteção; e o relacionamento das ações de prevenção de acidentes ambientais realizadas pela manutenção, com o número de incidentes e acidentes ambientais.

Tabela 7.22 – Seleção dos KPIs para a categoria *Green*

Rank	G_m	Descrição dos KPIs	KPI (G_n)
10	1	Taxa de incidentes ambientais	G1
4	2	Taxa de acidentes ambientais	G2
1	3	Emergências ambientais por unidade de referência	G3
3	4	Taxa de avarias com danos ambientais causadas pela manutenção	G4
5	5	Índice de avarias com danos ambientais	G5
8	6	Índice de risco de danos ambientais	G6
9	7	Taxa de resíduos da manutenção	G7
2	11	Consumo de energia por unidade de referência	G8
7	15	Índice de utilização dos meios de proteção ambiental	G9
6	16	Índice de prevenção de acidentes ambientais	G10

Para a categoria *Green* foi ainda discutida a possibilidade de integrar o KPI G_{12} , “Emissões de gases para a atmosfera por unidade de referência”, visto a redução e/ou eliminação do risco de fugas contaminantes e das emissões poluentes ser um objetivo relevante da manutenção *Green* como forma de reduzir riscos à saúde pública e ao meio ambiente. O referido KPI foi classificado na 13ª posição segundo a avaliação de preferências do decisor. O gestor da manutenção do aeroporto reporta que existe a preocupação com as emissões de gases para a atmosfera, mas que, face ao contexto de atuação da manutenção, as situações e riscos são insignificantes. No contexto da aviação, as emissões de gases para a atmosfera são bastante expressivas e praticamente incontornáveis. Excluindo as emissões das aeronaves e dos veículos que assistem as operações aeroportuárias, as emissões de gases para o meio ambiente resumem-se às produzidas pelas raras solicitações das caldeiras, às eventuais fugas de gases dos sistemas de ar condicionado e de refrigeração, às insólitas fugas de gases voláteis dos combustíveis líquidos e às produzidas pelas cozinhas da restauração concessionada.

7.3.7. Atribuição das ponderações para agregação LARG

Para a atribuição de pesos ou ponderações na agregação dos resultados dos indicadores de desempenho nas quatro categorias LARG recorreu-se ao método AHP. O mesmo método foi utilizado para a atribuição de pesos às respetivas categorias LARG (*Lean*, *Agile*, *Resilient* e *Green*). Tal como exposto na Secção 6.3.4 e de acordo com os procedimentos do método AHP na Secção 5.2.2.2, o decisor efetuou as comparações pareadas dos elementos das matrizes de julgamento utilizando a escala fundamental do AHP apresentada na Tabela 5.2 na mesma secção.

Os pesos foram extraídos através da ferramenta informática programada em VBA com a formulação matemática para o cálculo do vetor de prioridades do AHP.

Na Tabela 7.23 é apresentada a matriz gerada com as comparações pareadas entre as categorias LARG. Os pesos determinados pelo AHP são também apresentados na última linha da tabela.

Tabela 7.23 – Matriz de comparação AHP e pesos para agregação LARG

LARG	<i>Lean</i>	<i>Agile</i>	<i>Resilient</i>	<i>Green</i>
<i>Lean</i>	1	1/2	1/3	3
<i>Agile</i>	2	1	1	2
<i>Resilient</i>	3	1	1	2
<i>Green</i>	1/3	1/2	1/2	1
W_{LARG}	$W_L=0,1930$	$W_A=0,3245$	$W_R=0,3592$	$W_G=0,1233$

Os julgamentos na matriz de comparações pareadas foram considerados consistentes, uma vez que, para $n = 4$ o rácio de consistência CR (expressão 5.45) é inferior a 0,09 (CR=0,0861).

Embora o método ELECTRE tenha permitido ordenar os KPIs por ordem decrescente segundo a preferência do decisor, essas ordenações refletem a importância dos indicadores para a avaliação de desempenho da gestão da manutenção de acordo com os critérios definidos. Os critérios permitiram avaliar as várias alternativas (KPIs) a serem integradas no modelo de avaliação LARG, contemplando aspetos essenciais de decisão, segundo os quais o gestor da manutenção expressou os seus pontos de vista atribuindo níveis de importância. Para a atribuição de pesos como ponderações na agregação dos resultados dos indicadores de desempenho, o gestor da manutenção preferiu recorrer ao método AHP que permite a comparação par a par dos KPIs. Desta forma, os pesos gerados refletem a importância que cada KPI atingiu, confrontado diretamente com os demais integrados em cada categoria LARG, verificando a preferência do decisor face aos aspetos que medem para perceção do desempenho da gestão da manutenção no alcance dos seus objetivos.

Portanto, na seleção dos indicadores, as avaliações contribuíram para a ordenação e distinção daqueles que o decisor considera mais importantes para a avaliação de desempenho dentro de cada paradigma LARG. Na atribuição de pesos aos indicadores selecionados, o decisor avalia com o desígnio de estabelecer em quando cada indicador deve contribuir para essa avaliação de desempenho.

Nas quatro tabelas seguintes (7.24, 7.25, 7.26 e 7.27) são apresentadas as matrizes geradas com as comparações pareadas entre os KPIs selecionados para a medição do desempenho da manutenção e integrados nos paradigmas *Lean*, *Agile*, *Resilient* e *Green*, respetivamente. Os pesos determinados pelo AHP aos conjuntos de KPIs para cada paradigma, são também apresentados na última linha da respetiva tabela.

Tabela 7.24 – Matriz de comparação AHP e pesos para ponderação dos KPIs na categoria *Lean*

L_n	L_1	L_2	L_3	L_4	L_5	L_6	L_7	L_8	L_9	L_{10}
L_1	1	1	1/2	2	1/3	3	2	2	1/4	3
L_2	1	1	1/2	1/2	1/3	1	1/2	1	1/4	1/2
L_3	3	3	1	3	1/2	1/2	1/3	1/3	1/3	1
L_4	1/2	2	1/3	1	1/5	1/3	1/2	1/3	1/4	1/2
L_5	3	3	2	5	1	4	2	2	1	3
L_6	1/3	1	2	3	1/4	1	1/3	1/2	1/4	1/2
L_7	1/2	2	3	2	1/2	3	1	1/2	1/3	1/2
L_8	1/2	1	1/3	1/3	1/2	2	2	1	1/2	2
L_9	4	4	3	4	1	4	3	2	1	3
L_{10}	1/3	2	1	2	1/3	2	2	1/2	1/3	1
WL_i	$WL_1 =$ 0,0955	$WL_2 =$ 0,0506	$WL_3 =$ 0,0745	$WL_4 =$ 0,0398	$WL_5 =$ 0,1977	$WL_6 =$ 0,0542	$WL_7 =$ 0,0832	$WL_8 =$ 0,1066	$WL_9 =$ 0,2221	$WL_{10} =$ 0,0758

Os julgamentos induzidos na matriz de comparações para a determinação dos pesos dos KPIs da categoria *Lean* (Tabela 7.24) apresentam consistência, uma vez que o valor calculado pelo rácio de consistência é $CR=0,0985$. Para $n > 4$ o rácio de consistência CR deve ser inferior a 0,1. Portanto, pode-se afirmar que as combinações das comparações estabelecidas são consideradas consistentes, embora o valor do rácio CR denuncie uma certa proximidade com o limite aceitável.

O método AHP permite comparações de pares ligeiramente inconsistentes. Na tentativa de encontrar soluções mais consistentes, seguiram-se as recomendações de Saaty, revendo e reavaliando as comparações. Porém, os julgamentos estabelecidos pelo decisor sempre apresentaram valores de CR próximos a 0,1. Face às limitações apresentadas pelo método AHP no estabelecimento de julgamentos a um elevado número de elementos, e não sendo o valor da inconsistência superior a 10%, os pesos gerados foram admitidos. O decisor concordou com os pesos determinados admitindo que refletem a importância aceitável dos respetivos KPIs na avaliação de desempenho pretendida.

Tabela 7.25 – Matriz de comparação AHP e pesos para ponderação dos KPIs na categoria *Agile*

A_n	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7	A_8
A_1	1	1/2	3	1/2	2	1/4	1/4	2
A_2	2	1	2	1	2	2	1	1
A_3	1/3	1/2	1	1/3	1/3	1/3	1/4	1
A_4	2	1	3	1	1/2	1/3	1/4	2
A_5	1/2	1/2	3	2	1	1/2	1/3	2
A_6	4	1/2	4	3	2	1	1/2	2
A_7	4	1	4	4	3	2	1	2
A_8	1/2	1	1	1/2	1/2	1/2	1/2	1
WA_i	$WA_1 =$ 0,0896	$WA_2 =$ 0,1562	$WA_3 =$ 0,0474	$WA_4 =$ 0,1013	$WA_5 =$ 0,1013	$WA_6 =$ 0,1792	$WA_7 =$ 0,2534	$WA_8 =$ 0,0716

Os julgamentos na matriz de comparações para a determinação dos pesos dos KPIs da categoria *Agile* (Tabela 7.25) apresentam consistência. O rácio de consistência CR forneceu um valor inferior a 0,1 (CR=0,0834). O decisor concordou com os pesos gerados pelo AHP uma vez que refletem a importância dos KPIs, válida para a avaliação de desempenho pretendida.

Tabela 7.26 – Matriz de comparação AHP e pesos para ponderação dos KPIs na categoria *Resilient*

R_n	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5	R_6	R_7	R_8	R_9
R_1	1	1/2	1/3	1/4	1/4	1/5	1/5	1	3
R_2	2	1	1	1/2	1/2	1	1/3	2	3
R_3	3	1	1	1/2	1	1/2	1/3	3	2
R_4	4	2	2	1	2	1	1/2	2	3
R_5	4	2	1	1/2	1	1/3	1/4	2	1
R_6	5	1	2	1	3	1	1/2	2	1
R_7	5	3	3	2	4	2	1	3	1
R_8	1	1/2	1/3	1/2	1/2	1/2	1/3	1	2
R_9	1/3	1/3	1/2	1/3	1	1/2	1	1/2	1
WR_i	$WR_1 =$ 0,0465	$WR_2 =$ 0,0977	$WR_3 =$ 0,1022	$WR_4 =$ 0,1623	$WR_5 =$ 0,0934	$WR_6 =$ 0,1540	$WR_7 =$ 0,2293	$WR_8 =$ 0,0608	$WR_9 =$ 0,0538

Os julgamentos impelidos da matriz de comparações apresentados na Tabela 7.26, para a determinação dos pesos dos KPIs da categoria *Resilient* apresentam consistência, cujo rácio CR apresenta um valor inferior a 0,1 (CR=0,0838). O decisor concordou também com os pesos gerados pelo AHP, uma vez que refletem importâncias aceitáveis para a agregação dos resultados dos KPIs na avaliação de desempenho da gestão da manutenção desta categoria LARG.

Tabela 7.27 – Matriz de comparação AHP e pesos para ponderação dos KPIs na categoria *Green*

G_n	G_1	G_2	G_3	G_4	G_5	G_6	G_7	G_8	G_9	G_{10}
G_1	1	1/5	1	1/5	1/4	1/2	1	1/4	2	2
G_2	5	1	1/3	1/2	1/3	1/2	1	1/4	1	2
G_3	1	3	1	1/3	1	1/3	4	1/3	2	3
G_4	5	2	3	1	2	3	4	1/2	1	3
G_5	4	3	1	1/2	1	2	4	1	1	2
G_6	2	2	3	1/3	1/2	1	2	1/4	1	2
G_7	1	1	1/4	1/4	1/4	1/2	1	1/3	1/2	1
G_8	4	4	3	2	1	4	3	1	3	4
G_9	1/2	1	1/2	1	1	1	2	1/3	1	1
G_{10}	1/2	1/2	1/3	1/3	1/2	1/2	1	1/4	1	1
WG_i	$WG_1 =$ 0,0508	$WG_2 =$ 0,0661	$WG_3 =$ 0,0951	$WG_4 =$ 0,1734	$WG_5 =$ 0,1362	$WG_6 =$ 0,0924	$WG_7 =$ 0,0444	$WG_8 =$ 0,2238	$WG_9 =$ 0,0721	$WG_{10} =$ 0,0457

Também os julgamentos inseridos da matriz de comparações de pares de KPIs selecionados para a categoria *Green* (Tabela 7.27) apresentam consistência. O cálculo do rácio de consistência CR resultou num valor inferior a 0,1 ($CR=0,0863$). Os pesos gerados pelo AHP foram considerados apropriados para a agregação dos resultados dos KPIs na avaliação de desempenho da gestão da manutenção do aeroporto, segundo o paradigma *Green*.

Os pesos determinados pelo AHP são, portanto, os valores a atribuir nas ponderações da avaliação de desempenho global LARG. Estes valores poderiam ter sido ajustados segundo a preferência do decisor, tendo em atenção a sua experiência e conhecimento da realidade da manutenção das infraestruturas do aeroporto. Porém, o gestor da manutenção não encontrou essa necessidade, admitindo que os valores numéricos gerados como ponderações na contribuição de cada indicador para a avaliação de desempenho LARG, são admissíveis e reveladores da importância dos aspetos que os KPIs medem, segundo o seu raciocínio.

O gestor da manutenção argumenta que através do método AHP foi possível gerar pesos aceitáveis para a agregação dos resultados dos KPIs, contudo, considera que a técnica de construção da matriz de comparação, através de julgamentos par a par, exige tempo e uma elevada concentração para que as prioridades entre os elementos sejam estabelecidas de forma lógica, racional e coerente. Nomeadamente, estas exigências acentuam-se nas situações em que se pretende comparar um número elevado de elementos. Houve a necessidade de repetir e conferir os julgamentos em todas as matrizes de forma a encontrar comparações mais consistentes. Ou seja, para todos os paradigmas LARG foram realizados vários ajustes nas avaliações pareadas, gerados pesos através do *software* desenvolvido com o cálculo do vetor de prioridades do AHP e conferido o rácio de consistência dos julgamentos. As matrizes de comparação AHP e pesos apresentados nas tabelas anteriores (7.24, 7.25, 7.26 e 7.27) são por conseguinte as versões otimizadas e finais no processo de atribuição das ponderações. O processo envolveu assim avultada informação com algum cariz subjetivo e considerável esforço na fixação de julgamentos consistentes com a convicção do decisor.

Os KPIs selecionados para a avaliação de desempenho em cada categoria LARG são os mais relevantes segundo a preferência do gestor da manutenção. Por esse motivo, o gestor não evidenciou grandes discrepâncias de importância entre os KPIs, limitando-se a comparações com julgamentos de baixa intensidade de importância.

7.3.8. Avaliação LARG

O próximo passo é a avaliação de desempenho da gestão da manutenção nas quatro categorias LARG. Os parâmetros dos KPIs foram quantificados com dados obtidos a partir da consulta ao histórico da manutenção, correspondentes aos anos 2012 e 2013. O sistema CMMS disponibiliza todos os dados da atividade da manutenção necessários para a quantificação dos parâmetros dos KPIs selecionados a integrar o modelo de avaliação de desempenho da gestão da manutenção LARG. Aquando da pré-seleção dos KPIs houve o cuidado de se confirmar a existência dos dados

essenciais no histórico, a validade e a precisão desses dados, assim como foram acauteladas as restantes considerações apontadas na Secção 6.3.2.4.

Portanto, os KPIs foram quantificados para os dois anos em estudo, ou seja, foram calculados os indicadores de desempenho com os dados referentes à atividade da manutenção no ano 2012 e 2013.

Para a normalização dos resultados dos KPIs para uma escala única, compreendida entre 0 e 1, foram definidos os limites inferiores e superiores da escala métrica de cada KPI. A definição destes valores de normalização consistiu em encontrar, relativamente a cada KPI, os valores limites do intervalo aceitável para o desempenho da gestão da manutenção num aeroporto em concreto. Esses valores foram definidos tendo em consideração os objetivos ambicionados pelo departamento da manutenção, valores de referência *benchmarking*, valores técnicos consensuais da manutenção e também valores baseados na experiência pessoal vivida no dia-a-dia da manutenção da estrutura aeroportuária. Assim, denominou-se por “valor pior” ao limite inferior (pior valor aceitável) e por “valor melhor” ao limite superior (melhor valor ou valor desejado a atingir), da escala métrica de cada KPI. Na definição dos valores pior e melhor de cada escala métrica, interferiu o facto do respetivo KPI ser de maximização ou de minimização.

A quantificação dos parâmetros e o cálculo dos KPIs nas quatro categorias LARG referentes à atividade da manutenção dos anos 2012 e 2013, assim como as escalas definidas, podem ser encontradas no Anexo III.

Para a avaliação do desempenho da gestão da manutenção em cada categoria do modelo LARG construíram-se tabelas de cálculo onde foram introduzidos os resultados do cálculo de cada KPI, os valores das escalas métricas para a normalização dos resultados de desempenho e os pesos para a agregação desses resultados na respetiva categoria, já determinados na secção anterior (7.3.7). Estes dados permitiram, através da expressão (6.3) apresentada no Capítulo 6 deste trabalho, o cálculo dos valores normalizados (entre 0 e 1) dos resultados dos indicadores de desempenho e posterior cálculo dos valores ponderados a contribuir para a avaliação de desempenho da manutenção segundo cada paradigma LARG. Essas avaliações foram também calculadas, ou seja, foram calculados os valores da agregação dos resultados normalizados dos KPIs em cada categoria, através da expressão (6.4). Como ponderações, foram utilizados os pesos determinados e apresentados como mostra a Tabela 7.23.

Nas quatro páginas seguintes são apresentadas as tabelas de cálculo descritas no parágrafo anterior. As tabelas compreendidas entre a numeração 7.28 e 7.35 correspondem, portanto, à avaliação do desempenho da gestão da manutenção no aeroporto segundo os paradigmas *Lean*, *Agile*, *Resilient* e *Green*, nos anos 2012 e 2013.

A nomenclatura e siglas encontradas nas tabelas seguem a descrição que pode ser encontrada na Secção 6.3.6 da metodologia proposta, no Capítulo 6.

Tabela 7.28 – Avaliação da gestão da manutenção na categoria *Lean* (2012)

LEAN								
KPI (L_n)	Descrição	Valor	Max. Min.	Escala		Valor Normalizado (L_i)	Peso (WL_i)	Valor Ponderado
				V.Pior	V.Melhor			
L_1	Custo de manutenção por unidade de referência	0,3276	min.	0,4	0,3	0,7240	0,0955	0,0691
L_2	Rácio de custo da manutenção corretiva/total	0,4791	min.	0,7	0,3	0,5523	0,0506	0,0279
L_3	Índice de manutenção corretiva/preventiva	0,2368	min.	0,35	0,2	0,7547	0,0745	0,0562
L_4	Índice de manutenção de melhoria	0,0330	Max.	0,01	0,05	0,5750	0,0398	0,0229
L_5	Índice de desempenho global da manutenção	0,7400	Max.	0,6	0,9	0,4667	0,1977	0,0923
L_6	Índice de OTs que excederam o tempo especificado ou previsto	0,0031	min.	0,1	0	0,9690	0,0542	0,0525
L_7	Índice de OTs para retrabalho	0,0037	min.	0,03	0	0,8767	0,0832	0,0729
L_8	Nº de avarias por cada 1000 unidades de referência	1,0072	min.	2	0	0,4964	0,1066	0,0529
L_9	Tempo médio de indisponibilidade operacional relacionado com manutenção	0,1765	min.	0,5	0	0,6470	0,2221	0,1437
L_{10}	Índice de reclamações de clientes por causa imputada à manutenção	0,0021	min.	0,005	0	0,5800	0,0758	0,0440
Σ							1	0,6345
W_{Lean} (W_L)		0,1930	Total Lean				0,1225	

Tabela 7.29 – Avaliação da gestão da manutenção na categoria *Lean* (2013)

LEAN								
KPI (L_n)	Descrição	Valor	Max. Min.	Escala		Valor Normalizado (L_i)	Peso (WL_i)	Valor Ponderado
				V.Pior	V.Melhor			
L_1	Custo de manutenção por unidade de referência	0,3672	min.	0,4	0,3	0,3280	0,0955	0,0313
L_2	Rácio de custo da manutenção corretiva/total	0,5727	min.	0,7	0,3	0,3183	0,0506	0,0161
L_3	Índice de manutenção corretiva/preventiva	0,3033	min.	0,35	0,2	0,3113	0,0745	0,0232
L_4	Índice de manutenção de melhoria	0,0338	Max.	0,01	0,05	0,5950	0,0398	0,0237
L_5	Índice de desempenho global da manutenção	0,8014	Max.	0,6	0,9	0,6713	0,1977	0,1327
L_6	Índice de OTs que excederam o tempo especificado ou previsto	0,0033	min.	0,1	0	0,9670	0,0542	0,0524
L_7	Índice de OTs para retrabalho	0,0028	min.	0,03	0	0,9067	0,0832	0,0754
L_8	Nº de avarias por cada 1000 unidades de referência	0,9713	min.	2	0	0,5144	0,1066	0,0548
L_9	Tempo médio de indisponibilidade operacional relacionado com manutenção	0,1326	min.	0,5	0	0,7348	0,2221	0,1632
L_{10}	Índice de reclamações de clientes por causa imputada à manutenção	0,0018	min.	0,005	0	0,6400	0,0758	0,0485
Σ							1	0,6214
W_{Lean} (W_L)		0,1930	Total Lean				0,1199	

Tabela 7.30 – Avaliação da gestão da manutenção na categoria *Agile* (2012)

AGILE								
KPI (A_n)	Descrição	Valor	Max. Min.	Escala		Valor Normalizado (A_j)	Peso (WA_j)	Valor Ponderado
				V.Pior	V.Melhor			
A_1	Índice de execução das Ots de manutenção preventiva dentro do tempo especificado	0,9892	Max	0	1	0,9892	0,0896	0,0886
A_2	Índice de qualidade da programação	0,0037	min.	0,02	0	0,8150	0,1562	0,1273
A_3	Índice de execução de OTs de manutenção preventiva	1,0000	Max.	0	1	1,0000	0,0474	0,0474
A_4	Índice de recalendarização de OTs de manutenção preventiva	0,0126	min.	0,1	0	0,8740	0,1013	0,0885
A_5	Tempo medio de encaminhamento de incidências	0,1170	min.	0,3333	0,0833	0,8653	0,1013	0,0877
A_6	Tempo médio para diagnóstico	0,0290	min.	0,5	0	0,9420	0,1792	0,1688
A_7	Tempo médio operacional para reparar (MTTR – <i>Mean Time To Repair</i>)	0,5808	min.	1	0	0,4192	0,2534	0,1062
A_8	Índice de competências multidisciplinares	0,4545	Max.	0,35	0,65	0,3483	0,0716	0,0249
Σ							1	0,7395
WAgile (W_A)		0,3245	Total Agile				0,2400	

Tabela 7.31 – Avaliação da gestão da manutenção na categoria *Agile* (2013)

AGILE								
KPI (A_n)	Descrição	Valor	Max. Min.	Escala		Valor Normalizado (A_j)	Peso (WA_j)	Valor Ponderado
				V.Pior	V.Melhor			
A_1	Índice de execução das Ots de manutenção preventiva dentro do tempo especificado	0,9797	Max	0	1	0,9797	0,0896	0,0878
A_2	Índice de qualidade da programação	0,0013	min.	0,02	0	0,9350	0,1562	0,1460
A_3	Índice de execução de OTs de manutenção preventiva	1,0000	Max.	0	1	1,0000	0,0474	0,0474
A_4	Índice de recalendarização de OTs de manutenção preventiva	0,0150	min.	0,1	0	0,8500	0,1013	0,0861
A_5	Tempo medio de encaminhamento de incidências	0,1213	min.	0,3333	0,0833	0,8481	0,1013	0,0859
A_6	Tempo médio para diagnóstico	0,0365	min.	0,5	0	0,9270	0,1792	0,1661
A_7	Tempo médio operacional para reparar (MTTR – <i>Mean Time To Repair</i>)	0,7304	min.	1	0	0,2696	0,2534	0,0683
A_8	Índice de competências multidisciplinares	0,4545	Max.	0,35	0,65	0,3483	0,0716	0,0249
Σ							1	0,7126
WAgile (W_A)		0,3245	Total Agile				0,2312	

Tabela 7.32 – Avaliação da gestão da manutenção na categoria *Resilient* (2012)

RESILIENT								
KPI (R_n)	Descrição	Valor	Max. Min.	Escala		Valor Normalizado (R_i)	Peso (WR_i)	Valor Ponderado
				V.Pior	V.Melhor			
R_1	Índice de acidentes de trabalho da manutenção por cada 1000 unidades de referência	0,0000	min.	0,001	0	1,0000	0,0465	0,0465
R_2	Índice de avarias com acidentes pessoais	0,0005	min.	0,001	0	0,5000	0,0977	0,0489
R_3	Média de horas de mão-de-obra em manutenção corretiva de urgência	5,4600	min.	18	0	0,6967	0,1022	0,0712
R_4	Tempo médio esperando materiais ou mão-de-obra em manutenção corretiva de urgência	0,3512	min.	4	0	0,9122	0,1623	0,1481
R_5	Índice manutenção corretiva de urgência	0,2284	min.	1	0	0,7716	0,0934	0,0721
R_6	Tempo médio para assistir em situações urgentes e disruptivas	0,0678	min.	0,25	0	0,7288	0,1540	0,1122
R_7	Tempo médio de indisponibilidade em situações disruptivas	0,0642	min.	0,5	0	0,8716	0,2293	0,1999
R_8	Índice de manutenção de equipamentos, integrada por computador	0,9296	Max.	0	1	0,9296	0,0608	0,0565
R_9	Índice de flexibilidade na aquisição e/ou contratação de serviços de manutenção	0,3607	min.	0,75	0,1	0,5989	0,0538	0,0322
Σ							1	0,7875
$W_{Resilient}$ (W_R)		0,3292	Total Lean				0,2829	

Tabela 7.33 – Avaliação da gestão da manutenção na categoria *Resilient* (2013)

RESILIENT								
KPI (R_n)	Descrição	Valor	Max. Min.	Escala		Valor Normalizado (R_i)	Peso (WR_i)	Valor Ponderado
				V.Pior	V.Melhor			
R_1	Índice de acidentes de trabalho da manutenção por cada 1000 unidades de referência	0,0002	min.	0,001	0	0,8000	0,0465	0,0372
R_2	Índice de avarias com acidentes pessoais	0,0007	min.	0,001	0	0,3000	0,0977	0,0293
R_3	Média de horas de mão-de-obra em manutenção corretiva de urgência	9,3600	min.	18	0	0,4800	0,1022	0,0491
R_4	Tempo médio esperando materiais ou mão-de-obra em manutenção corretiva de urgência	1,9311	min.	4	0	0,5172	0,1623	0,0839
R_5	Índice manutenção corretiva de urgência	0,2113	min.	1	0	0,7887	0,0934	0,0737
R_6	Tempo médio para assistir em situações urgentes e disruptivas	0,0820	min.	0,25	0	0,6720	0,1540	0,1035
R_7	Tempo médio de indisponibilidade em situações disruptivas	0,0119	min.	0,5	0	0,9762	0,2293	0,2238
R_8	Índice de manutenção de equipamentos, integrada por computador	0,9637	Max.	0	1	0,9637	0,0608	0,0586
R_9	Índice de flexibilidade na aquisição e/ou contratação de serviços de manutenção	0,2231	min.	0,75	0,1	0,8106	0,0538	0,0436
Σ							1	0,7028
$W_{Resilient}$ (W_R)		0,3292	Total Lean				0,2524	

Tabela 7.34 – Avaliação da gestão da manutenção na categoria *Green* (2012)

GREEN								
KPI (G_n)	Descrição	Valor	Max. Min.	Escala		Valor Normalizado (G_j)	Peso (WG_j)	Valor Ponderado
				V.Pior	V.Melhor			
G_1	Taxa de incidentes ambientais	0,6667	min.	1	0	0,3333	0,0508	0,0169
G_2	Taxa de acidentes ambientais	0,3333	min.	1	0	0,6667	0,0661	0,0441
G_3	Taxa de emergências ambientais por cada 1000 unidades de referência	0,0009	min.	0,001	0	0,1000	0,0951	0,0095
G_4	Taxa de avarias com danos ambientais causadas pela manutenção	0,1667	min.	1	0	0,8333	0,1734	0,1445
G_5	Índice de avarias com danos ambientais	0,0004	min.	0,001	0	0,6000	0,1362	0,0817
G_6	Índice de risco de danos ambientais	0,0145	min.	0,1	0	0,8550	0,0924	0,0790
G_7	Taxa de resíduos da manutenção	72,75	min.	100	50	0,5450	0,0444	0,0242
G_8	Consumo de energia por unidade de referência	2,6847	min.	3,5	2,5	0,8153	0,2238	0,1825
G_9	Índice de utilização dos meios de proteção ambiental	0,5161	Max.	0	1	0,5161	0,0721	0,0372
G_{10}	Índice de prevenção de acidentes ambientais	0,3333	Max.	0	1	0,3333	0,0457	0,0152
Σ							1	0,6348
W_{Green} (W_G)		0,1233	Total Lean				0,0783	


Tabela 7.35 – Avaliação da gestão da manutenção na categoria *Green* (2013)

GREEN								
KPI (G_n)	Descrição	Valor	Max. Min.	Escala		Valor Normalizado (G_j)	Peso (WG_j)	Valor Ponderado
				V.Pior	V.Melhor			
G_1	Taxa de incidentes ambientais	0,9167	min.	1	0	0,0833	0,0508	0,0042
G_2	Taxa de acidentes ambientais	0,4167	min.	1	0	0,5833	0,0661	0,0386
G_3	Taxa de emergências ambientais por cada 1000 unidades de referência	0,0005	min.	0,001	0	0,5000	0,0951	0,0476
G_4	Taxa de avarias com danos ambientais causadas pela manutenção	0,0833	min.	1	0	0,9167	0,1734	0,1590
G_5	Índice de avarias com danos ambientais	0,0005	min.	0,001	0	0,5000	0,1362	0,0681
G_6	Índice de risco de danos ambientais	0,0205	min.	0,1	0	0,7950	0,0924	0,0735
G_7	Taxa de resíduos da manutenção	76,67	min.	100	50	0,4666	0,0444	0,0207
G_8	Consumo de energia por unidade de referência	2,5816	min.	3,5	2,5	0,9184	0,2238	0,2055
G_9	Índice de utilização dos meios de proteção ambiental	0,7368	Max.	0	1	0,7368	0,0721	0,0531
G_{10}	Índice de prevenção de acidentes ambientais	0,1875	Max.	0	1	0,1875	0,0457	0,0086
Σ							1	0,6788
W_{Green} (W_G)		0,1233	Total Lean				0,0837	

O modelo proposto para a avaliação do desempenho da gestão da manutenção global LARG baseia-se no cálculo ponderado dos resultados normalizados dos KPIs, selecionados por serem relevantes, segundo os conceitos dos distintos paradigmas.

Para o cálculo do índice de avaliação global LARG recorreu-se à expressão (6.5) da Secção 6.3.6. Para a apresentação dos índices alcançados pela gestão da manutenção do aeroporto nos anos 2012 e 2013 criaram-se as Tabelas 7.36 e 7.37. As tabelas mostram também os resultados da avaliação do desempenho conseguido em cada categoria (paradigma) do modelo, os pesos atribuídos para agregação das avaliações a essas categorias e os valores resultantes da agregação ponderada. Estes últimos valores enunciados foram calculados segundo a forma apresentada nas tabelas da avaliação de desempenho das categorias LARG, nesta secção.

Tabela 7.36 – Avaliação global LARG da gestão da manutenção (2012)

Avaliação LARG			
"Paradigma"	W	Σ	TOTAL
LEAN	0,1930	0,6345	0,1225
AGILE	0,3245	0,7395	0,2400
RESILIENT	0,3592	0,7875	0,2829
GREEN	0,1233	0,6348	0,0783
LARG 			0,7236


Numa breve análise aos resultados apresentados pela Tabela 7.36, conclui-se que em 2012 a gestão da manutenção do aeroporto obteve, segundo os paradigmas do modelo LARG, os desempenhos de 63,45% *Lean*, 73,95% *Agile*, 78,75% *Resilient* e 63,48% *Green*, o que permitiu atingir um índice global LARG de 72,36%.

A leitura da tabela permite fazer ainda alguma análise relativamente aos desempenhos alcançados. Os desempenhos foram mais elevados nas duas categorias (*Agile* e *Resilient*) cujos pesos atribuídos, segundo a preferência do gestor da manutenção, também são mais elevados. Isto pode significar uma maior atenção dada aos aspetos relacionados com a agilidade e resiliência da manutenção. Por outro lado, estes resultados podem denunciar que os valores da escala de normalização dos KPIs (valores pior e melhor) estabelecidos para as categorias *Lean* e *Green*, possam revelar objetivos mais ambiciosos. Para o despiste destes pressupostos, a gestão da manutenção deve analisar com rigor os intervalos das escalas métricas definidos inicialmente e proceder a ajustes, caso se justifiquem. Este aspeto é de crucial importância já que os valores limites podem ser considerados como objetivos a atingir no médio/curto prazo.

A Tabela 7.37 mostra os valores da avaliação global do desempenho da gestão da manutenção LARG do aeroporto no ano 2013. Pela leitura dos resultados apresentados na tabela verifica-se que os desempenhos obtidos segundo os paradigmas do modelo LARG foram 62,14% *Lean*, 71,26% *Agile*, 70,28% *Resilient* e 67,88% *Green*, sendo que o índice da avaliação global LARG

atingiu apenas os 68,73%. Comparativamente ao ano 2012, em 2013, o índice apresenta um decréscimo de 3,63% que, aparentemente, não revela preocupações significativas. Contudo, será necessária uma análise detalhada para perceber o que provocou tal decréscimo. Será portanto essencial a apreciação dos desempenhos nas diferentes categorias, confrontando os resultados dos respetivos KPIs e a análise das diferenças encontradas para compreender as razões e/ou os fenómenos que causaram um menor desempenho da manutenção LARG em 2013. Para a análise dos desvios no desempenho da manutenção, segundo o modelo proposto, sugere-se a análise gráfica através do diagrama de contribuições na avaliação LARG.

Tabela 7.37 – Avaliação global LARG da gestão da manutenção (2013)

Avaliação LARG			
"Paradigma"	W	Σ	TOTAL
LEAN	0,1930	0,6214	0,1199
AGILE	0,3245	0,7126	0,2312
RESILIENT	0,3592	0,7028	0,2524
GREEN	0,1233	0,6788	0,0837
LARG 			0,6873

Tal como para o período em análise anterior (2012), em 2013 os desempenhos também foram mais elevados nas duas categorias (*Agile* e *Resilient*). Contudo, apresentam um decréscimo de 2,39% segundo o paradigma *Agile* e mais acentuado segundo o paradigma *Resilient*, reduzido em 8,47%. Perante o exposto, é de extrema importância verificar que aspetos medidos contribuíram para um menor desempenho. Relativamente à categoria *Lean*, o decréscimo de 1,31% parece não sugerir grandes preocupações. Porém, é do mesmo modo aconselhável proceder à análise da forma como se expressaram as métricas neste paradigma.

O resultado da avaliação na categoria *Green* é revelador de algumas melhorias no desempenho da manutenção segundo esse paradigma. Embora esta categoria apresente um aumento de desempenho de 4,4% relativamente ao período em análise anterior, convém que esse aumento não tenha resultado de melhores desempenhos em determinados aspetos (KPIs), em detrimento de outros. Embora prematuramente se possa salientar uma maior atenção e/ou eficiência da manutenção para as questões ambientais, será fundamental a certificação desse pressuposto através de análise mais detalhada.

A leitura do índice de avaliação global, assim como dos valores das avaliações do desempenho nas categorias LARG são indicadores de níveis de desempenho alcançados. Contudo, convém não esquecer que estes valores resultam de somas ponderadas. Quer isto dizer que será sempre necessária a análise dos desempenhos conseguidos em cada uma das métricas integradas na avaliação. Pois um KPI que apresente um baixo desempenho, mas que lhe tenha sido atribuído um peso elevado, pode contribuir em maior proporção para um determinado nível de desempenho

do que outro KPI apresentando desempenho alto, mas ao qual foi atribuído menor peso. Este raciocínio leva a compreender que o conhecimento de um determinado nível de desempenho alcançado, segundo o modelo proposto, não significa o cumprimento dos objetivos da manutenção na mesma proporção.

Note-se que, entre os dois períodos em análise, nenhum dos pesos de agregação na avaliação da gestão da manutenção LARG do aeroporto foram alterados. Seguindo os procedimentos da metodologia proposta para a avaliação de desempenho segundo o conceito LARG, as alterações ou ajustes ao modelo, para além de dificultarem o entendimento de desempenhos alcançados, não permitem o controlo eficaz dos aspetos medidos nem a identificação do processo de melhoria da manutenção. Contudo, podem ser necessários alguns ajustes na otimização do modelo, nomeadamente, nas escalas de normalização dos KPIs face aos objetivos definidos para a manutenção. De referir que o caso de estudo apresenta a fase inicial da aplicação da metodologia proposta, de implementação do modelo e avaliação de desempenho da gestão da manutenção, segundo o conceito LARG.

7.4. Análise dos resultados da avaliação LARG

Com a aplicação da metodologia desenvolvida pretende-se fornecer uma visão global do desempenho da gestão da manutenção do aeroporto atendendo ao conceito LARG. Pretende-se que o modelo permita a interpretação dos desempenhos obtidos nos principais aspetos da manutenção, que possibilite a otimização das suas atividades e recursos, que contribua para uma gestão eficiente na resposta às necessidades técnicas dos ativos físicos e em função dos objetivos económicos e do negócio da organização.

Como já referido, o caso de estudo explorado neste trabalho é baseado em cenários reais da gestão da manutenção de um aeroporto. A aplicação da metodologia ao caso de estudo refere-se à utilização simulada de informação e dados admissíveis na manutenção deste tipo de infraestruturas. Não se pretendeu divagar sobre matérias e contextos desconhecidos dessa realidade e que pela sua abrangência ultrapassam o âmbito desta dissertação. Nomeadamente, não são discutidos assuntos concretos das atividades da manutenção nem evidenciadas soluções técnicas, ainda que alguns conselhos do ponto de vista organizacional sejam apontados.

Neste pressuposto, a análise dos resultados da avaliação à gestão da manutenção LARG do aeroporto compreende a interpretação dos desempenhos obtidos para a perceção dos objetivos alcançados, dos desvios e/ou melhorias operacionais. Os resultados desta análise permitirão ao gestor da manutenção, determinar orientações para as devidas correções técnicas, funcionais e organizacionais da manutenção ou estabelecer estratégias mais adequadas para o cumprimento dos objetivos.

A representação gráfica constitui um elemento facilitador para a análise de resultados. Um gráfico pode ser uma forma de representação mais expressiva expondo conjuntos de resultados complexos, difíceis de serem analisados sob a forma de valores listados em tabela. Como

representação gráfica dos resultados no desempenho da manutenção segundo o modelo LARG, é proposto, na Secção 6.4, o diagrama de contribuições na avaliação LARG.

A Figura 7.2 representa graficamente os resultados da avaliação do desempenho da gestão da manutenção no aeroporto no ano 2012. Através do diagrama de contribuições na avaliação LARG, são representados graficamente os valores normalizados dos KPIs, os valores dos desempenhos segundos os paradigmas do modelo (soma ponderada dos resultados dos KPIs integrados em cada categoria) e o valor do índice global. Os dados para a construção do diagrama de contribuições (Figura 7.2) são os contidos nas Tabelas 7.28, 7.30, 7.32 e 7.34, referentes às avaliações de desempenho segundo os paradigmas *Lean*, *Agile*, *Resilient* e *Green* do ano 2012.

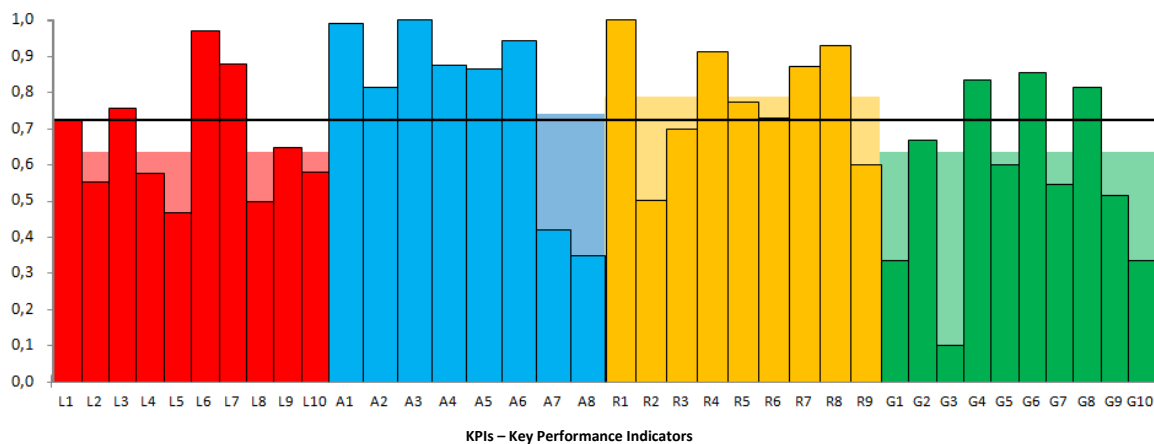


Figura 7.2 – Diagrama de contribuições na avaliação LARG (2012)

A análise do diagrama de contribuições LARG permite evidenciar os valores que se identificam mais pertinentes, ou seja, que se encontram com maior desvio face aos objetivos estabelecidos ou expectáveis. Permite verificar que KPIs (que medem aspetos da atividade da manutenção) se destacam com desempenhos mais elevados e reveladores de objetivos atingidos.

Poder-se-á concluir que os KPIs que menos contribuíram para o nível de desempenho da manutenção, ou seja, os KPIs que contribuíram negativamente para o índice de desempenho global, são todos aqueles que se apresentam com resultados abaixo do valor do índice global LARG (linha horizontal negra). Na análise do desempenho segundo cada paradigma, os KPIs que apresentam resultados abaixo do valor da sua categoria também contribuíram negativamente para esse nível de desempenho obtido. Todos estes KPIs devem ter a especial atenção dos responsáveis pela manutenção, no sentido de analisar as causas e determinar as ações necessárias para as correções dos desvios percebidos.

Pela análise da Figura 7.2, pode notar-se que na categoria *Lean*, os KPIs “L6 -Índice de OTs que excederam o tempo especificado ou previsto” e “L7 - Índice de OTs para retrabalho” apresentam os resultados mais elevados, com 96,9% e 87,67 de desempenho, respetivamente. Os piores desempenhos na composição de KPIs do paradigma *Lean* são verificados nos KPIs “L2 - Rácio de

custo da manutenção corretiva/total” (55,23%), “L4 - Índice de manutenção de melhoria” (57,5%), “L5 - Índice de desempenho global da manutenção” (46,67%), “L8 - Número de avarias por cada 1000 unidades de referência” (49,64%) e “L10 - Índice de reclamações de clientes por causa imputada à manutenção” (58%).

Na categoria *Agile*, a maioria dos KPIs registaram resultados de elevado desempenho, com valores bem acima do índice global. Contudo, os piores desempenhos são bastante evidenciados pelos KPIs “A7 - Tempo médio operacional para reparar” (41,92%) e “A8 - Índice de competências multidisciplinares” (34,83%).

Os desvios mais significativos no desempenho da manutenção segundo o paradigma *Resilient* são verificados nos KPIs “R2 - Índice de avarias com acidentes pessoais” (50%) e “R9 - Índice de flexibilidade na aquisição e/ou contratação de serviços de manutenção” (59,89%). Porém, os KPIs “R3 - Média de horas de mão-de-obra em manutenção corretiva de urgência” (69,67%), “R5 - Índice manutenção corretiva de urgência” (77,16%) e “R6 - Tempo médio para assistir em situações urgentes e disruptivas” (72,88%) apresentam também desempenhos abaixo da avaliação da respetiva categoria.

Na categoria *Green* notam-se três KPIs que apresentam desempenhos acima do índice global: G4, G6 e G8. As principais preocupações neste paradigma vão para os KPIs “G1 - Taxa de incidentes ambientais” (33,33%), “G3 - Taxa de emergências ambientais por cada 1000 unidades de referência” (10%), e “G10 - Índice de prevenção de acidentes ambientais” (33,33%) que mostram desempenhos bastante baixos. Três outros KPIs integrados na avaliação do paradigma *Green* mostram desempenhos abaixo da avaliação da categoria. São os KPIs “G5 - Índice de avarias com danos ambientais” (60%), “G7 - Taxa de resíduos da manutenção” (54,5%) e “G9 - Índice de utilização dos meios de proteção ambiental” (51,61%).

O diagrama de contribuições LARG permitiu assim evidenciar os melhores desempenhos e os principais desvios no desempenho da gestão da manutenção durante o ano 2012. O mesmo processo pode ser efetuado para o ano de 2013 e perceber a evolução desses resultados na continuidade das atividades da manutenção do aeroporto. A sequência das avaliações LARG e a análise dos resultados de desempenho, obtidos ao longo de períodos sucessivos da atividade da manutenção, permite também evidenciar com clareza as desigualdades, beneficiadas ou prejudicadas, com as decisões tomadas para correção ou melhoria de resultados anteriores. Para esclarecer os fenómenos por detrás de cada desempenho convirá a consulta e análise dos valores dos parâmetros dos KPIs, perceber a sua verdadeira dimensão e distâncias para com os objetivos expectáveis. Os KPIs foram selecionados, preferencialmente, por medirem aspetos importantes em função dos objetivos ambicionados com a integração do conceito LARG à gestão da manutenção dos ativos físicos da organização.

A Figura 7.3 representa graficamente os resultados da avaliação do desempenho da gestão da manutenção no aeroporto no ano 2013. Os dados para a construção deste diagrama de contribuições são fornecidos pelas Tabelas 7.29, 7.31, 7.33 e 7.35, referentes às avaliações de desempenho segundo os paradigmas *Lean*, *Agile*, *Resilient* e *Green* do ano 2013.

A análise da Figura 7.3 permitirá a comparação das distintas contribuições que justificam o decréscimo de 3,63% do índice da avaliação global LARG no segundo período em análise.

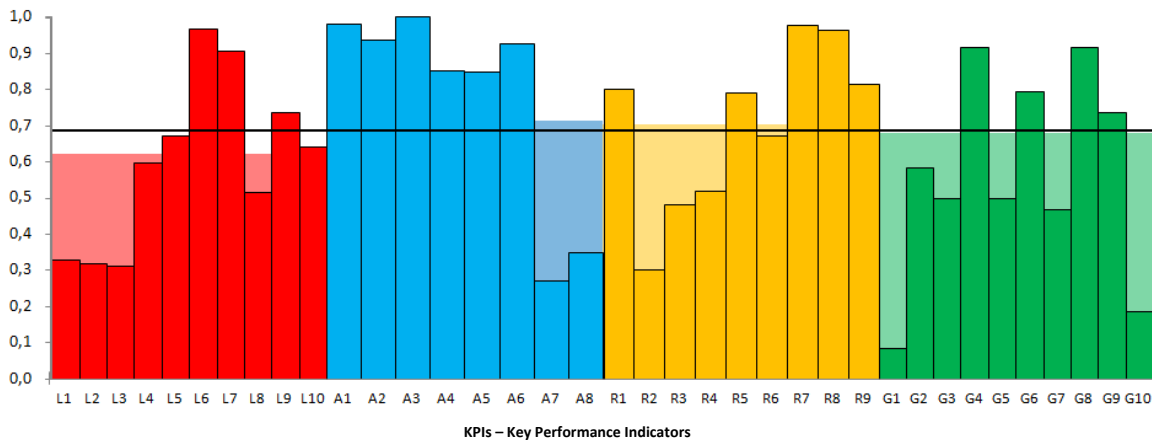


Figura 7.3 – Diagrama de contribuições na avaliação LARG (2013)

No ano 2013, o decréscimo de 1,31% no contexto da manutenção *Lean*, deveu-se, fundamentalmente, ao diminuto desempenho verificado pelos aspetos medidos pelos KPIs “L1 - Custo de manutenção por unidade de referência” (32,8%), menos 39% que em 2012, “L2 - Rácio de custo da manutenção corretiva/total” (31,83%), menos 23,4% que em 2012, e “L3 - Índice de manutenção corretiva/preventiva” (31,13%), com um resultado menor em 44,34% relativamente ao ano transato. Face aos parâmetros de avaliação destes desempenhos, verifica-se que o custo total da manutenção aumentou expressivamente devido ao aumento de custos na componente corretiva. A manutenção corretiva causou um custo 41,26% superior, comparativamente a 2012. Em 2013, a manutenção corretiva acumulou mais 2759 horas de mão-de-obra que no ano anterior, ou seja, mais 31,5% que no ano de 2012. A manutenção preventiva regista um aumento de 997 horas de mão-de-obra, correspondendo apenas a um aumento de 2,7% relativamente ao ano de 2012. Perante o exposto, conclui-se que, sendo a redução de custos um objetivo importante da manutenção *Lean*, deve haver uma atenção especial aos fenómenos que causaram o aumento de horas de mão-de-obra de manutenção corretiva. Neste contexto revela-se indispensável a análise do KPI “L8 - Número de avarias por cada 1000 unidades de referência” (51,44%), cujo resultado melhorou ligeiramente em 1,8%. Ou seja, face ao aumento de tráfego de passageiros, o número proporcional de avarias baixou.

À exceção do KPI “L6 - Índice de OTs que excederam o tempo especificado ou previsto” (96,7%), que apresenta um ligeiro decréscimo de 0,2% no seu resultado, todos os restantes KPIs desta categoria apresentam significativas melhorias. Dá-se um especial destaque ao melhor desempenho registado pelo KPI “L5 - Índice de desempenho global da manutenção” (67,13%), um aumento de 14,46%. Este valor é revelador de francas melhorias no aproveitamento dos recursos humanos do setor da manutenção. Contudo, pode significar uma maior ocupação do pessoal da manutenção em tarefas de manutenção corretiva. A consulta dos parâmetros dos KPIs L3 e L4

permitirão desvendar essa questão. Neste período de análise apenas os KPIs L6, L7 e L9 superaram o índice global LARG.

Verifica-se que na categoria *Agile*, os KPIs A1, A2, A3, A4, A5 e A6 continuam a registrar desempenhos bem acima do índice global. Estes indicadores que se relacionam com aspetos fundamentais da agilidade da manutenção apresentam resultados bem perto dos objetivos de excelência no desempenho da manutenção do aeroporto. Contudo, entre estes, apenas o KPI “A2 – Índice de qualidade da programação” aumentou o seu desempenho. Um acréscimo significativo de 12%. Para este paradigma, os piores desempenhos continuam ainda a ser bastante evidenciados pelos mesmos KPIs. O KPI “A7 - Tempo médio operacional para reparar” (26,96%), apresenta um desempenho minorado em 14,96%, relativamente ao período anterior. Uma das razões técnicas possíveis para a presença de tal valor relaciona-se com o facto de ter ocorrido um número superior de avarias neste período, cujas reparações exigiram mais tempo. O KPI “A8 - Índice de competências multidisciplinares” (34,83%), manteve-se com o mesmo resultado, uma vez que o número de colaboradores da manutenção com competências multidisciplinares não se alterou. Os desempenhos segundo os KPIs A7 e A8 mantiveram-se, portanto, muito abaixo do valor do índice global de avaliação LARG.

Relativamente ao aspeto das competências multidisciplinares, a manutenção deve proporcionar mais formação, uma vez que pretende que 65% dos seus colaboradores sejam aptos para responder à maioria das solicitações das suas atividades.

O paradigma *Resilient* foi o que registou o decréscimo mais acentuado na avaliação de desempenho LARG em 2013, reduzido em 8,47% comparativamente com a avaliação do ano 2012. Na categoria *Resilient*, os desvios mais significativos verificaram-se nos KPIs “R2 - Índice de avarias com acidentes pessoais” (30%), menos 20%, “R3 - Média de horas de mão-de-obra em manutenção corretiva de urgência” (48%), menos 21,67%, e “R4 - Tempo médio esperando materiais ou mão-de-obra em manutenção corretiva de urgência” (51,72%), com uma acentuada redução de 39,5% no desempenho, relativamente ao período anterior. Estes três KPIs contribuíram negativamente para o desempenho nesta categoria. Verificaram-se mais 433 horas de mão-de-obra em manutenção corretiva de urgência que em 2012. Contudo, registaram-se menos incidências urgentes e disruptivas, o que leva a concluir que essas incidências requereram mais tempo de trabalho de reparação e reposição dos equipamentos para a operação. Verificou-se ainda o aumento do tempo de espera por materiais ou mão-de-obra perante as incidências urgentes, o que pode ajudar a explicar a conclusão anterior.

Dos restantes KPIs da categoria *Resilient*, apenas o KPI “R6 - Tempo médio para assistir em situações urgentes e disruptivas” (67,2%) reduziu o seu desempenho em 5,68%, apresentando-se ainda com resultado abaixo da avaliação da categoria. O KPI “R5 - Índice manutenção corretiva de urgência”, embora com um número superior de horas de mão-de-obra em manutenção corretiva de urgência superior, proporcionalmente ao acréscimo de horas totais de manutenção corretiva, apresenta um aumento de 1,71% no desempenho.

O KPI “R7 - Tempo médio de indisponibilidade em situações disruptivas” (97,62%) apresenta uma melhoria de desempenho de 10,46%. É de referir que a este KPI foi atribuído um peso de agregação de 0,2293 por ser um importante indicador da resiliência da manutenção face a situações disruptivas. A melhoria mais significativa nesta categoria foi registada pelo KPI “R9 - Índice de flexibilidade na aquisição e/ou contratação de serviços de manutenção” (81,06%), com um aumento de 21,17%. A gestão da manutenção tem vindo a reduzir o número de contratos fixos de manutenção que se mantinham para serviços ocasionais. Com este objetivo, a manutenção pretende, não só diminuir os custos associados, como também permitir maior flexibilidade para a aquisição de serviços de manutenção a distintos fornecedores.

O paradigma *Green* foi o único com melhoria na avaliação de desempenho, relativamente ao período anterior. A gestão da manutenção do aeroporto conseguiu nesta categoria um desempenho acrescido de 4,4%. Contudo, seis KPIs da categoria *Green* obtiveram resultados inferiores ao ano 2012. As principais preocupações neste paradigma continuam a ser com os KPIs que apresentam resultados abaixo da avaliação da categoria. Relacionados com incidentes, acidentes e emergências ambientais, os KPIs “G1 - Taxa de incidentes ambientais” (8,33%), menos 25%, “G2 - Taxa de acidentes ambientais” (58,33%), menos 8,34% e “G3 - Taxa de emergências ambientais por cada 1000 unidades de referência” (50%), que aumentou em 40%.

Devido a danos ambientais provocados pela ocorrência de avarias, o KPI “G5 - Índice de avarias com danos ambientais” (50%), representa menos 10% de desempenho para a manutenção. Contudo, o KPI “G4 - Taxa de avarias com danos ambientais causadas pela manutenção” (91,67%), melhorou 8,34%, significando que, durante o período em análise, para além de terem ocorrido poucas avarias com danos ambientais por falha da manutenção, o número diminuiu. O KPI “G6 - Índice de risco de danos ambientais” (79,5%), apresenta um resultado com menos 6% de desempenho, revelando que, proporcionalmente ao total de avarias, ocorreu um número significativo de avarias com probabilidade de causarem danos ambientais. Ao KPI G6 foi atribuído um peso de 0,1362.

Das atividades da manutenção resultam bastantes resíduos. Provavelmente, pelo aumento do número de intervenções, de avarias e atividades que envolveram substituição de componentes, materiais, lubrificantes, entre outros, a manutenção produziu maior quantidade de resíduos no ano 2013. O KPI “G7 - Taxa de resíduos da manutenção” (46,66%), apresenta um resultado com menos 7,84%.

A eficiência energética é uma grande preocupação da gestão da manutenção no aeroporto. Por esse motivo, o peso atribuído ao KPI “G8 – Consumo de energia por unidade de referência” foi de 0,2238. Comparando os valores deste KPI, revelam-se relativas melhorias para o último ano em análise. No ano 2013, o desempenho avaliado pelo KPI G8 apresenta um valor normalizado de 91,84%, uma melhoria de 10,31% comparativamente ao ano 2012. Pela consulta do resultado do KPI, verifica-se que o consumo de energia por unidade de referência está próximo do valor ambicionado.

O KPI “G9 – Índice de utilização dos meios de proteção ambiental” (73,68%), apresenta um aumento significativo de 22,07% face ao ano anterior. Este resultado é revelador de maior consciência e adequação dos meios para a proteção ambiental nas atividades da manutenção, contudo, este indicador deve alcançar valores bem superiores no futuro. Ainda referente à prevenção ambiental, o KPI “G10 - Índice de prevenção de acidentes ambientais” (18,75%), apresenta um desempenho diminuído em 14,58% relativamente ao ano transato.

Segundo o paradigma *Green*, e de acordo com as análises estabelecidas, não ocorreram melhorias de desempenho em todos os KPIs. Para alguns KPIs a evolução do desempenho foi oposta em relação ao período de estudo anterior. O resultado da avaliação desta categoria mostra algumas oscilações que merecem a atenção mais cuidada da manutenção.

Face ao exposto sobre a análise às avaliações do desempenho da manutenção no âmbito dos conceitos LARG, poder-se-á concluir que, a maioria dos maus desempenhos verificam-se pelo facto de ocorrerem bastantes avarias exigindo significativo tempo para a devida correção. É de referir que o número de avarias com carácter de urgência e disruptivo também se assinala preocupante para a garantia da qualidade do serviço prestado pela organização. Contudo, os indicadores de indisponibilidade operacional mostram melhorias de desempenho. A manutenção deve empreender esforços, principalmente, no sentido de compreender os fenómenos das falhas e avarias dos seus ativos físicos que levaram aos registos no histórico dos períodos estudados. Em termos globais, no ano 2013 a gestão da manutenção piorou o seu desempenho, comparativamente ao ano 2012. Será necessária uma análise mais detalhada e abrangente para compreender tais desempenhos, carecendo essa análise de mais informação sobre os factos.

As análises já proferidas nos parágrafos anteriores, provavelmente também poderiam ter sido realizadas sem a interpretação dos diagramas de contribuições LARG. Porém, estes diagramas foram facilitadores desse trabalho expondo com mais clareza os resultados mais pertinentes. Digamos que o diagrama de contribuições LARG complementa a análise para uma visão mais abrangente dos aspetos da manutenção.

Para permitir a comparação gráfica dos desempenhos alcançados nos dois períodos em análise foi construído o diagrama ilustrado na Figura 7.4. Esta representação gráfica confronta os resultados obtidos pela manutenção nos anos 2012 e 2013. Neste diagrama, foram sobrepostos os valores normalizados dos resultados dos KPIs nos dois períodos em análise. Os desempenhos obtidos no ano 2012 são apresentados pelas barras mais estreitas e com cor mais escura, respeitando a associação de cores dos paradigmas proposta para o modelo LARG.

A linha contínua horizontal a negro, sobre todos os KPIs, indica o valor do índice global LARG obtido pelo desempenho da manutenção no ano de 2013, o último período em estudo. Por sua vez, a linha descontínua horizontal, também a negro, indica o valor do mesmo índice obtido no período antecedente em estudo, ou seja, no ano 2012. Deste modo, praticamente toda a informação relevante é exposta sobre o diagrama, de forma lucida e perceptível dos desempenhos alcançados.

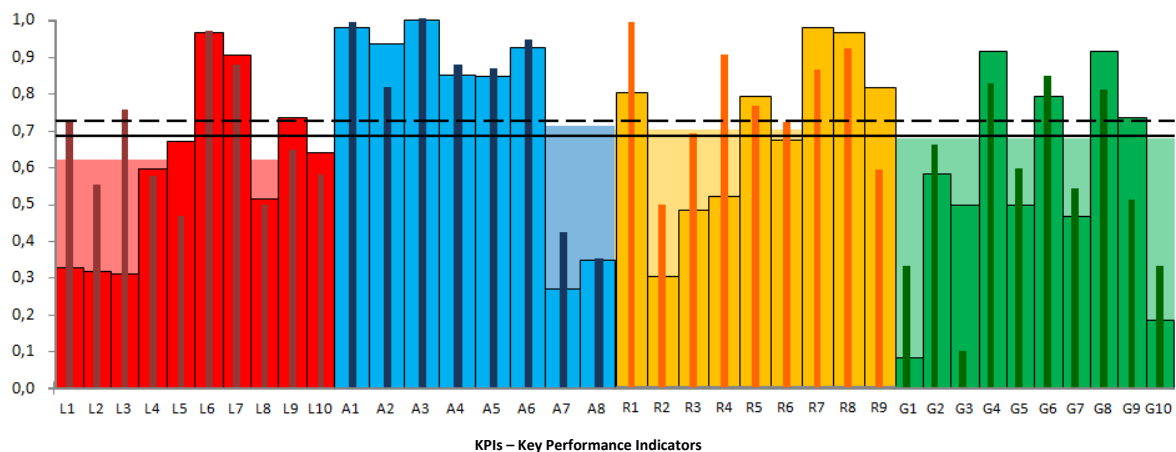


Figura 7.4 – Diagrama de contribuições na avaliação LARG (comparação 2012/2013)

Este diagrama permite uma análise clara e ainda mais abrangente. As análises realizadas anteriormente podem ser clarificadas mediante a leitura deste diagrama que expõe e chama a atenção para as situações de maior desvio aos objetivos definidos, confrontando-os simultaneamente com os resultados do período anterior.

A análise comparativa das avaliações LARG de dois períodos consecutivos permite auxiliar o gestor da manutenção na percepção da evolução dos desempenhos na gestão das atividades da manutenção, nomeadamente, em edifícios e grandes estruturas.

As análises futuras podem também contemplar a confrontação dos resultados obtidos no desempenho da gestão da manutenção com valores expectáveis face aos objetivos e estratégias delineadas para o período em análise. Isto é, admitir cenários possíveis e expectáveis no início de um período, ainda que os valores admitidos não correspondam à excelência da manutenção. Admitindo que o caso de estudo é revelador de uma realidade da manutenção de um aeroporto, os valores aqui tratados e obtidos podem constituir um cenário comparável para as organizações exploradoras e gestoras deste tipo de infraestruturas.

Assumindo que os dados utilizados e os resultados deste estudo se relacionam com possíveis realidades (cenários reais) de gestão da manutenção em organizações homólogas, algumas conclusões e conselhos podem ser apreciados e de interesse no âmbito de uma abordagem segundo o modelo LARG.

Aconselham-se ajustes nas escalas métricas de normalização dos resultados dos KPIs (valor pior e valor melhor). Por exemplo no KPI “L8 – Número de avarias por cada 1000 unidades de referência”. Ora, é subentendido que não é possível conseguir-se as “zero” avarias, face à tecnologia, à dimensão, à complexidade da estrutura e ao nível operacional do negócio. Por maior que seja a fiabilidade dos ativos físicos e instalações, as avarias sempre ocorrerão. A manutenção deve ambicionar o menor número possível de avarias e, por isso, deve procurar a melhoria contínua do seu trabalho. Visto isto, o limite superior da escala (valor melhor) deve ser diferente de

“zero”, designadamente, deve assumir um valor possível de ser conseguido, como forma de estabelecer um objetivo ambicioso, mas realizável. Outro exemplo ocorre com o KPI “A7 – Tempo médio operacional para reparar”. Também é subentendido que, se ocorrem avarias, estas requerem tempo para serem reparadas e, por esse motivo, também o “valor melhor” da escala métrica para normalização deste KPI não deverá ser “zero”.

Nesta primeira aplicação do modelo de avaliação LARG ao aeroporto, alguns dos valores das escalas métricas de normalização dos KPIs foram atribuídos sem o conhecimento de valores admissíveis à realidade da manutenção na infraestrutura. Visto não existirem valores de referência para todas as métricas e serem difíceis de assumir, como aceitáveis e desejados, valores baseados nos dados existentes para os próprios períodos em análise, o valor “zero” foi assumido como “valor pior” ou “valor melhor” para KPIs de maximização ou de minimização, respetivamente. Nas mesmas condições descritas no parágrafo anterior, encontram-se também as avaliações com outros KPIs. Aconselha-se portanto um estudo mais aprofundado às escalas métricas dos seguintes KPIs: L8, A7, R3, R5 e R6.

Os ajustes das escalas métricas justificam-se com o intuito de facilitar a perceção dos desempenhos conseguidos face aos objetivos traçados. Por outro lado, uma aferição mais justa dos desempenhos nos distintos aspetos da manutenção LARG, proporcionará avaliações mais harmonizadas ao nível dos paradigmas e, por conseguinte, um índice global LARG mais justo e adequado à realidade da gestão da manutenção na organização. Chama-se a atenção para a análise de grandes oscilações dos resultados dos KPIs entre os períodos de análise. Nessas circunstâncias, é aconselhável não utilizar valores limites do intervalo das escalas, muito próximos de resultados já atingidos, para não inviabilizar avaliações na eventualidade de poderem ser ultrapassados em períodos futuros.

O KPI “A2 – Índice de qualidade da programação” é um indicador de minimização. Compreende-se porém, que sendo um índice de qualidade, deveria a sua polaridade ser de maximização. Uma solução neste sentido pode ser a alteração do seu numerador com os seguintes parâmetros: “(Nº total de OTs de manutenção preventiva - Nº de OTs com atraso de execução devido a falta de material ou mão-de-obra)”. Contudo, este é um indicador que mede a agilidade da manutenção na programação do seu trabalho que, segundo Muchiri *et al.* (2011) e Gonçalves *et al.* (2014b), não deve ser menosprezado. Além de garantir que as atividades planeadas são realizadas dentro do tempo esperado, é essencial que elas sejam programadas em função da disponibilidade de mão-de-obra qualificada e materiais necessários para o trabalho. Estes autores fornecem também valores de referência ao resultado deste KPI, e por esse motivo pretendeu-se neste estudo não alterar a sua génese. Do mesmo modo, o KPI “R9 - Índice de flexibilidade na aquisição e/ou contratação de serviços de manutenção”, também deveria ter a polaridade voltada para a maximização. Porém, para uma melhor evidência na atribuição dos limites da sua escala de normalização, percebeu-se que a sua formulação deveria ser tal, de forma a proporcionar um valor percentual (entre 0 e 1). Assim, este indicador de desempenho relaciona o total de contratos de longa duração assumidos, com o total de prestadores de serviços de manutenção (esporádicos e

contratados). Independentemente da manutenção estabelecer contratos para o fornecimento de serviços de manutenção, deve ter a flexibilidade de, no momento da necessidade desse serviço, optar pelo fornecedor que apresente mais vantagens face à situação. E portanto, será razoável que não sejam suportados custos associados com esses contratos se, na prática, não existirem serviços prestados.

Considera-se que todos os KPIs utilizados neste caso de estudo fornecem elementos importantes para a avaliação do desempenho e otimização da gestão da manutenção LARG de um aeroporto. A aplicação desta metodologia a outras estruturas, edifícios ou mesmo sistemas produtivos podem, do mesmo modo, considerar os mesmos indicadores, adicionar ou requerer outros com maior relevância ao contexto em que se inserem. Em particular, julga-se que os conjuntos de KPIs selecionados pela metodologia de decisão multicritério apresentada, fornecem uma resposta harmonizada sobre os desempenhos nos principais aspetos da atividade da manutenção, segundo uma abordagem LARG (*Lean, Agile, Resilient e Green*).

CAPÍTULO 8

CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

8.1. Conclusões

Com a presente investigação foi possível desenvolver uma metodologia para a avaliação da gestão da manutenção LARG (*Lean, Agile, Resilient e Green*). Neste trabalho, o conceito LARG é apresentado de forma inovadora no contexto da gestão da manutenção.

Manutenção LARG não é um tipo de manutenção, mas sim um conceito, uma filosofia, um modelo de abordagem ao contexto das atividades e gestão da manutenção. O modelo LARG pretende direcionar a atenção dos intervenientes no processo da manutenção para aspetos atualmente considerados importantes no desempenho da manutenção de ativos físicos.

No fundo, a expressão “manutenção LARG” consiste numa forma de abordar os aspetos importantes da manutenção, integrando-os segundo o entendimento dos distintos paradigmas. O conceito LARG fornece uma visão inovadora e abrangente na resposta às necessidades técnicas, económicas e competitivas atuais.

Neste trabalho é estabelecida a modelação da manutenção LARG, ou seja, são adotados os paradigmas *Lean, Agile, Resilient e Green* de forma integrada no contexto da manutenção. A abordagem realizada pretendeu promover os conceitos LARG numa integração à gestão da manutenção de ativos físicos em edifícios. O modelo desenvolvido contribui para um melhor desempenho da gestão das atividades da manutenção, verificando aspetos atualmente fundamentais no âmbito da sua atuação, em coerência com as estratégias do negócio da organização e em função dos ativos envolvidos.

É referido que a manutenção de ativos físicos em edifícios não é muito distinta da manutenção industrial. Por esse motivo, as experiências adquiridas na indústria têm sido adotadas com sucesso na área dos edifícios. Contudo, a especificidade das instalações e a natureza dos ativos físicos em edifícios têm particularidades que requerem atenções adequadas, nomeadamente, para atender a padrões de conforto e qualidade do serviço prestado aos clientes, às exigências legais, à complexidade das tecnologias e funcionalidades do edifício, em conformidade com as questões ambientais.

Esta investigação centrou-se no âmbito dos edifícios, realçando os aspetos mais pertinentes com a manutenção neles praticada, com as tecnologias e os ativos mais características das suas instalações. Porém, o conceito desenvolvido e proposto neste estudo é naturalmente extensível à manutenção industrial, podendo contribuir para a otimização dos processos produtivos e à

maximização do desempenho dos ativos para resultados de melhoria na produção. As organizações da indústria da produção encontrarão no modelo de manutenção LARG proposto, vantagens e oportunidades de melhoria dos seus processos para fazer face à competitividade nos mercados da sociedade moderna. Por outro lado, também a metodologia desenvolvida para a avaliação de desempenho da gestão da manutenção LARG se ajusta para utilização no contexto industrial. O conceito LARG integrado na engenharia de manutenção potencializa a otimização de competências técnicas e sobretudo competências no desempenho da gestão.

A metodologia proposta para a avaliação da gestão da manutenção LARG foi aplicada a um caso de estudo, baseado num cenário real da gestão da manutenção de um aeroporto. A unidade aeroportuária em estudo contempla uma grande estrutura de edifícios e uma diversificada gama de ativos físicos. O estudo seguiu a estrutura conceptual da metodologia proposta, tendo colaborado como decisor um experiente gestor da manutenção de um aeroporto. Seguem-se os principais passos e considerações:

- Para o referido estudo foi necessário compreender o negócio, as estratégias e os objetivos da organização, assim como ter a perceção da dimensão e complexidade tecnológica das instalações. Neste âmbito, foi compreendido que o desempenho da gestão da manutenção, de toda a estrutura e ativos é fator determinante na resposta: às necessidades técnicas para garantia da qualidade do serviço; às necessidades económicas garantindo a operação e a manutenção dos ativos a um custo global otimizado; e às necessidades competitivas, na medida em que são exigidos níveis operacionais de excelência, imagem organizacional e custos reduzidos com o objetivo de garantir a atratividade de parceiros no negócio e clientes (passageiros);
- Foram definidos os principais objetivos para modelação da manutenção LARG no aeroporto, o que compreendeu a identificação de parâmetros de desempenho e a definição de valores ambicionados a confrontar com os resultados da avaliação de desempenho em prossecução;
- Foram pré-selecionados quatro conjuntos de KPIs como alternativas a serem selecionadas para as categorias do modelo LARG. Os KPIs foram recolhidos entre os existentes no próprio departamento de manutenção, na norma NP EN 15341, na literatura especializada no tema, sendo que alguns KPIs foram desenvolvidos e/ou modificados especificamente para este caso de estudo;
- A avaliação da importância dos KPIs pré-selecionados foi realizada pelo gestor da manutenção, expressando a sua opinião sobre cada alternativa, em relação aos cinco critérios pré-definidos pela metodologia proposta, através dos nove níveis de importância da escala *Likert* fornecida;
- Para auxiliar o decisor na atribuição dos pesos aos critérios de avaliação, foi utilizado o *software* SRF com a implementação do procedimento de Simos revisto. O decisor

reconheceu ser uma técnica fácil de aplicar para além de ter concordado com os pesos gerados;

- Para a ordenação dos KPIs pré-selecionados foram utilizados dois métodos MCDA: o ELECTRE I, com posterior cálculo dos valores líquidos de concordância (NC) e discordância (ND), através da aplicação informática concebida em VBA (Gonçalves *et al.*, 2014a); e o ELECTRE III, específico para a ordenação de alternativas, recorrendo ao *software* próprio (Dias *et al.*, 2006). Para aplicação do ELECTRE III foram definidos limiares de discriminação para os critérios considerados mais importantes, como forma de refletir melhor a preferência do decisor.
- Concluiu-se que as ordenações de KPIs geradas pelo método ELECTRE III refletem melhor a preferência do decisor, uma vez que foi verificada alguma falta de robustez nos resultados obtidos através do método ELECTRE I, pois nem sempre as ordenações segundo NC foram compatíveis segundo ND;
- Para não impor demasiada informação no modelo de avaliação LARG, o que pode perturbar a compreensão e perceção de desempenhos alcançados, foram selecionados os 10 KPIs melhor classificados para cada categoria, tendo em conta as ordenações geradas pelo ELECTRE III com recurso aos limiares de discriminação. Porém, nas categorias *Agile* e *Resilient* foram apenas integrados 8 e 9 KPIs, respetivamente, visto ter ocorrido a repetição das mesmas métricas em várias categorias, e as restantes serem as suficientes para assegurar os aspetos importantes;
- Na atribuição de pesos para agregação dos resultados dos KPIs e para as categorias LARG foi utilizado o método AHP, através de uma aplicação informática desenvolvida em VBA, no qual o decisor estabeleceu julgamentos por comparações par a par entre os elementos a avaliar. Embora o gestor da manutenção tenha admitido que os pesos gerados refletem a importância das métricas, considerou que a técnica exige tempo e elevada concentração para que o processo possa estabelecer relações lógicas e coerentes, sobretudo, quando se comparam muitos elementos. Foi necessário repetir e conferir os julgamentos em todas as matrizes, para se conseguirem comparações consistentes;
- Os KPIs foram quantificados com dados do histórico da manutenção (dois anos em estudo) e para a normalização dos seus resultados, para uma escala absoluta entre 0 e 1, foram definidos os limites (valor pior e valor melhor) aceitáveis das respetivas escalas métricas, de acordo com os objetivos definidos e ambicionados pela manutenção. Foram calculados os desempenhos segundo os KPIs, para as quatro categorias, o que proporcionou a obtenção de índices de avaliação global LARG para os dois anos em estudo;
- Os resultados obtidos foram analisados e levaram a algumas conclusões acerca dos aspetos medidos. A análise permitiu identificar os distintos desempenhos entre os

paradigmas do modelo LARG, podendo salientar as melhores eficiências da manutenção, níveis de desempenho alcançados, o cumprimento percentual dos objetivos propostos, interpretação dos desempenhos nos aspetos medidos e a evolução desses desempenhos ao longo de diferentes períodos em análise;

- Através da análise do diagrama de contribuições LARG foi possível evidenciar os valores que se identificam mais pertinentes, os maiores desvios aos objetivos estabelecidos e que KPIs se destacaram com desempenhos mais elevados;
- Para permitir a comparação e perceber a evolução dos desempenhos nos dois períodos em estudo, foi construído um diagrama de contribuições que confronta, por sobreposição, os resultados da avaliação LARG nos dois anos. Esse diagrama permitiu uma análise mais abrangente, clarificando e chamando a atenção para as situações de maior desvio aos objetivos definidos;
- Após o estudo desenvolvido e análise aos desempenhos da manutenção no âmbito LARG, concluiu-se que:
 - A maioria dos maus desempenhos verificam-se devido ao elevado número de avarias que exigem muito tempo para as devidas correções;
 - O número de avarias com carácter de urgência e disruptivo é preocupante, face à qualidade do serviço que é pretendido prestar pela organização;
 - Foram verificadas melhorias de disponibilidade operacional;
 - A manutenção deve empreender esforços no sentido de compreender os fenómenos das falhas e avarias dos seus ativos físicos;
 - Em termos globais, a manutenção piorou o seu desempenho no último ano de estudo;
 - Aconselha-se análise mais detalhada para compreender a evolução dos desempenhos (mais informação).
- Contudo, a análise de sensibilidade aos dados e resultados da avaliação da gestão da manutenção LARG requer algumas atenções e conselhos:
 - As análises não se podem basear apenas nos valores alcançados. Será necessária a análise aos dados do histórico para compreender os fenómenos por detrás dos desempenhos obtidos;
 - O gestor da manutenção deve recorrer ao cálculo de outros KPIs que possam explicar determinado fenómeno alertado pelo modelo LARG;
 - Uma vez que os resultados da avaliação LARG são valores ponderados, será necessária a leitura e análise dos resultados dos KPIs integrados, sempre que se pretenda despistar fenómenos ou conhecer o real valor de um aspeto medido;

- Analisar com rigor os intervalos das escalas métricas (valor pior e valor melhor) e dos pesos de agregação para proceder a ajustes, caso se justifiquem nas primeiras avaliações;
- Os pesos de agregação na avaliação da gestão da manutenção LARG não devem ser alterados entre diferentes períodos de estudo, para permitirem o correto entendimento da evolução dos desempenhos e permitirem o controlo eficaz dos aspetos medidos;
- Para se identificar o processo de melhoria contínua da manutenção, tanto os pesos de agregação no modelo, como as escalas métricas, não devem ser alteradas;
- Na presença de grandes oscilações nos resultados dos KPIs entre períodos de estudo, é aconselhável não utilizar valores limites do intervalo das escalas muito próximos dos resultados já atingidos, para não inviabilizar avaliações, pois podem ser ultrapassados em períodos futuros.

Concluiu-se que o modelo proposto permite a interpretação dos desempenhos obtidos nos principais aspetos da manutenção, o que possibilita a tomada de decisões para a otimização das suas atividades e recursos, para a gestão eficiente na resposta às necessidades técnicas dos ativos físicos e em função dos objetivos da organização. A análise dos resultados da avaliação LARG compreende a interpretação dos desempenhos obtidos para a perceção dos objetivos alcançados, dos desvios ou melhorias. Perceber a evolução dos resultados e evidenciar os benefícios ou prejuízos com as decisões tomadas para correção ou melhoria de resultados anteriores.

Os resultados da análise da avaliação da gestão da manutenção, segundo o modelo LARG, permitirão aos gestores da manutenção, determinar orientações para as correções técnicas, funcionais e organizacionais da manutenção. Por outro lado, poderão alertar para o estabelecimento de novas estratégias mais adequadas para se atingirem os objetivos ambicionados.

Este estudo poderia ter sido mais abrangente, nomeadamente, apresentando soluções técnicas para a correção dos desvios percebidos no desempenho da manutenção. Contudo, essa temática ultrapassaria o âmbito desta dissertação.

No que respeita aos modelos MCDA utilizados, desconhecem-se quaisquer aplicações utilizando os métodos ELECTRE ou metodologias semelhantes, para a seleção de KPIs relevantes para a manutenção. Neste caso concreto, a metodologia proposta possibilitou a seleção de KPIs a integrar nas quatro categorias do modelo LARG.

Na literatura foram encontradas poucas aplicações para a seleção de KPIs para a manutenção. A maioria dessas contribuições resolve esses problemas recorrendo a métodos compensatórios, tais

como o método AHP e com a sua extensão ANP, para os quais foram encontradas limitações consideráveis.

Foi proposta uma metodologia MCDA baseada em métodos ELECTRE, que provaram ser ferramentas adequadas e eficientes para lidar com o tipo de problema apresentado no caso de estudo. Os métodos da família ELECTRE utilizam um modelo de preferência baseada em relações de prevalência por comparação entre pares de alternativas, utilizando o conceito de concordância e de discordância.

No caso de estudo do aeroporto, a metodologia proposta foi aplicada para gerar a ordenação decrescente de quatro conjuntos de KPIs (alternativas) com a preferência do gestor da manutenção, cujos resultados foram bem aceites.

A metodologia proposta requer pouco esforço e tempo do decisor. Proporciona apoio à decisão e orientação para a seleção de KPIs alinhados com os objetivos da organização. Além disso, reduz o nível de subjetividade com que o decisor reflete a sua preferência por KPIs relevantes para medir um determinado aspeto da manutenção.

Esta abordagem apresenta vantagens quando se pretende a ordenação de uma ampla gama de alternativas. A metodologia desenvolvida é prática e adequada para o apoio aos gestores da manutenção que encontram dificuldade em estabelecer preferência direta na seleção de KPIs entre um grande número de alternativas. Além disso, a abordagem proposta evita as limitações encontradas na utilização de AHP e ANP. O decisor avalia os KPIs diretamente em relação aos critérios. Não existe a necessidade de estabelecer comparações entre KPIs, que se tornam ambíguas quando o decisor tem muitas dúvidas sobre os julgamentos a estabelecer. Isto torna o processo de decisão mais explícito, racional e eficiente.

Acredita-se portanto, que a metodologia proposta pode interessar, mesmo para aplicar na seleção de KPIs fora do âmbito do modelo LARG. A metodologia apresentada é uma inovação nesta área de aplicação.

Acredita-se, contudo, que outros métodos e/ou outras metodologias poderão vir a contribuir com inovação e num processo de decisão de âmbito mais alargado. No número seguinte são apresentadas algumas sugestões para trabalhos futuros, cujos contributos poderão inovar e ampliar horizontes nesta área de estudo.

8.2. Sugestões para Trabalhos Futuros

Na sequência do trabalho desenvolvido e atendendo à sua pertinência, julga-se que alguns temas abordados nesta dissertação poderão constituir objeto de investigação em trabalhos futuros, numa lógica de continuidade, de um maior aprofundamento, de uma maior abrangência ou mesmo num âmbito diferente. Assim apresentam-se as seguintes sugestões:

- Como primeira sugestão, julga-se que a continuidade da aplicação da metodologia proposta nesta dissertação, pode constituir trabalho futuro, com o objetivo de obter

resultados que demonstrem a evolução dos desempenhos da gestão da manutenção no aeroporto após as orientações para as correções dos desvios apontados. Essa investigação permitirá evidenciar com mais profundidade os contributos da metodologia proposta, para além de possibilitar a validação desta metodologia integrada ao conceito da manutenção LARG;

- Sugere-se a aplicação da metodologia proposta para avaliação do desempenho da gestão da manutenção LARG a outra estrutura aeroportuária, com o objetivo de comparar os desempenhos da manutenção em organizações de atividades congêneres;
- A mesma metodologia pode ser aplicada noutros contextos de negócio, ou seja, aplicada a outras estruturas ou tipo de edifícios, com outras especificidades e dimensões tecnológicas distintas, com ativos físicos que exijam diferentes cuidados de manutenção, cujo contexto requeira outros aspetos da manutenção a serem medidos segundo os paradigmas LARG, e portanto, requerendo também a seleção de diferentes KPIs;
- Considera-se também pertinente a aplicação da metodologia proposta na avaliação do desempenho da gestão da manutenção LARG numa indústria da produção. Neste âmbito, julga-se que existirão inúmeras possibilidades de inovação e de aprofundamento do conceito de manutenção LARG, visto a diversidade de ativos físicos ser superior, as exigências voltadas para a quantidade e qualidade do produto, a dimensão dos desperdícios pode atingir outras proporções, as questões ambientais mais agressivas, a competitividade para mercados mais alargados, entre outras;
- Face à problemática da seleção de KPIs relevantes para a manutenção, o trabalho futuro pode consistir em comparar os resultados obtidos neste estudo com os obtidos através da utilização de diferentes métodos de ordenação MCDA.

BIBLIOGRAFIA

- Aytaç, E., Işık, A., e Kundakci, N., (2011). Fuzzy ELECTRE I Method for Evaluating Catering Firm Alternatives. *Ege Academic Review*, Vol. 11, pp. 125-134.
- Ajukumar, V., e Gandhi, O., (2013). Evaluation of green maintenance initiatives in design and development of mechanical systems using an integrated approach. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 51, pp. 34–46.
- Alfares, H. and Duffuaa, S., (2009). Assigning Cardinal Weights in Multi-Criteria Decision Making Based on Ordinal Ranking. *Journal of Multi-criteria Decision Analysis*, Vol. 15, No. 5-6, pp. 125 – 133.
- Al-Najjar, B., (2007). The lack of maintenance and not maintenance which costs: A model to describe and quantify the impact of vibration-based maintenance on company's business. *International Journal of Production Economics*, Vol.107, No. 1, pp. 260–273.
- Al-Najjar, B. e Alsayouf, I., (2003). Selecting the most efficient maintenance approach using fuzzy multiple criteria decision making. *International Journal of Production Economics*, Vol. 84, No. 1, pp. 85-100.
- Assis, R. (2010). *Apoio à Decisão em Manutenção na Gestão de Activos Físicos*. Lisboa: Lidel.
- Augusto, M., Figueira, J. e Lisboa, J., (2005). An application of multi-criteria approach to assessing the performance of Portugal's economic sectors – Methodology, analysis and implications. *European Business Review*, Vol. 17, No. 2, pp. 113-132.
- Azevedo, S., Carvalho, H. e Cruz-Machado, V., (2012). Proposal of a Conceptual Model to Analyse the Influence of LARG Practices on Manufacturing Supply Chain Performance. *Journal of Modern Accounting and Auditing*, Vol. 8, No. 2, pp. 174-184.
- Azevedo, S., Carvalho, H. e Cruz-Machado, V., (2011). A proposal of LARG Supply Chain Management Practices and a Performance Measurement System. *International Journal of e-Business, e-Management and e-Learning*, Vol. 1, No. 1, pp.7-14.
- Diaz-Balteiro, L., e Romero, C., (2008). Making forestry decisions with multiple criteria : A review and an assessment. *Forest Ecology and Management*, Vol. 255, No 8-9, pp.3222–3241.
- Bana e Costa, C. e Vansnick J. (2008). A critical analysis of the eigenvalue method used to derive priorities in AHP. *European Journal of Operational Research*, Vol. 187, pp. 1422-1428
- Baptista, L., Dias, J. e Couto, L., (2011). *Lean Maintenance - Aplicabilidade em PME's*. 11º Congresso Nacional de Manutenção, Tomar, 5 e 6 de Maio de 2011, Tomar.
- Barata, J., (2004). *CMMS – Computerized Maintenance Management Systems: Uma abordagem integrada para PMEs industriais*. Tese de Mestrado em Engenharia Informática. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.
- Berges, L., Galar, D. e Stenstrom, C., (2011). Human Factor in Maintenance Performance Measurement. *International Conference on Maintenance Performance Measurement and Management*. Conference Proceeding, pp. 201-208. Lulea, Sweden. ISBN: 978-91-7439-379-8.

- Bevilacqua, M. e Braglia, M., (2000). The analytic hierarchy process applied to maintenance strategy selection. *Reliability Engineering and System Safety*, Vol. 70, No. 1, pp. 71-83.
- Bezerra, J. E. A. e Tubino, D. F. (2000). A Manutenção de Condomínios em Edifícios, TPM, Terceirização e o JIT/TQC. Universidade de Fortaleza – UNIFOR e Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC.
- Bojković, N., Anić, I. e Pejčić-Tarle, S., (2010). One solution for cross-country transport-sustainability evaluation using a modified ELECTRE method. *Ecological Economics*, Vol. 69, No. 5, pp. 1176-1186.
- Botti, L. e Peypoch, N., (2013). Multi-criteria ELECTRE method and destination competitiveness. *Tourism Management Perspectives*, Vol. 6, pp.108-113.
- Branco, P. e Nobre, D., (2014). ISO 50001. Porquê uma norma mundial? *Revista Engenharia (OET)*, n.º 07 (março), pp.48-50, <http://hdl.handle.net/10400.22/3581>.
- Cabral, J. P. S. (2009). *Gestão da Manutenção de Equipamentos, Instalações e Edifícios*. Lisboa: Lidel.
- Cabral, I., Grilo, A. e Cruz-Machado, V., (2012). A decision-making model for Lean, Agile, Resilient and Green supply chain management. *International Journal of Production Research*, Vol. 50, No. 17, pp. 4830-4845.
- Caramujo, M., (2012). *Gestão da Segurança Contra Incêndios em Cidades Sustentáveis*. Tese de Mestrado. Lisboa: Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior Técnico, Construção e Reabilitação.
- Cardoso, P., (1999). *TPM - Uma filosofia de futuro - Análise e implementação de TPM em unidade industrial*. Tese de Mestrado em Manutenção Industrial - Faculdade de Engenharia de Engenharia – Universidade do Porto.
- Carnero, M., (2005). Selection of diagnostic techniques and instrumentation in a predictive maintenance program. A case study. *Decision Support Systems*, Vol. 38, No. 4, pp. 539-555.
- Carrijo, J. e Lima, C., (2008). *Disseminação TPM – Manutenção Produtiva Total nas Indústrias Brasileiras e no Mundo: Uma Abordagem Construtiva*. XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção – A integração de cadeias produtivas com a abordagem da manufatura sustentável (13 a 16 de outubro), Rio de Janeiro, Brasil.
- Carvalho, H., Barroso, A., Machado, V.H., Azevedo, S. e Cruz-Machado, V., (2012). Supply Chain redesign for resilience using simulation. *Computer & Industrial Engineering*, Vol. 62, No. 1, pp. 329-341.
- Carvalho, H., e Cruz-Machado, V., (2009). Lean, agile, resilient and green supply chain: a review. *Published by World Academic Press, Proceedings of the Third International Conference on Management Science and Engineering Management* (November 2-4, 2009, Bangkok, Thailand), pp.3-14, ISBN: 9781846260032 1846260035.
- Carvalho, H., Duarte, S. e Cruz-Machado, V., (2010). Lean, agile, resilient and green: divergences and synergies. *Proceedings of the Third International Conference on Management Science and Engineering Management*. Chungli, Taiwan, November 15-17, 2010, pp.3-14, ISBN: 1846260043, 9781846260049.
- Carvalho, H. e Cruz-Machado, V., (2011). *Integrating Lean, Agile, Resilience and Green Paradigms in Supply Chain Management (LARG_SCM)*. Supply Chain Management, Dr. Pengzhong Li (Ed.), In Tech, China. ISBN: 978-953-307-184-8.

- Chareonsuk, C., Nagarur, N. and Tabucanon, M., (1997). A multicriteria approach to the selection of preventive maintenance intervals. *Production Economics*, Vol. 49, No. 1, pp. 55–64.
- Chung, W. e Hui, Y., (2009). A study of energy efficiency of private office buildings in Hong Kong. *Energy and Buildings*, Vol. 41, No. 6, pp. 696-701.
- Coias, V. e Fernandes, S. (2007). Reabilitação Energética dos Edifícios. *Revista Pedra e Cal*, n.º 34, Abril, Maio e Junho de 2007, pp. 7-10.
- Corrente, S., Greco, S. and Słowiński, R., (2013). Multiple Criteria Hierarchy Process with ELECTRE and PROMETHEE. *Omega*, Vol. 41, No. 5, pp. 820-846.
- Correia, J. (2007). TPM – o que fazer já amanhã. 9º Congresso de Manutenção (APMI), Centro de Congressos da EXPONOR, Leça da Palmeira, 22 e 23 de novembro.
- Craveiro, J., (2005). Manutenção, uma oportunidade para Portugal. *Revista Manutenção*, n.º 84, 1º trimestre de 2005, pp. 4-7.
- Cruz, L., (2009). *Manutenção Produtiva Total: Implementação numa Fundação de Alumínio*. Relatório de Projeto de Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial. Universidade de Aveiro - Departamento de Economia, Gestão e Engenharia Industrial.
- Cruz-Machado, V. e Duarte, S. (2010). Tradeoffs among paradigms in Supply Chain Management. *Proceedings of the 2010 International Conference on Industrial Engineering and Operations Management (Dhaka, Bangladesh, January 9-10, 2010)*, ISBN: 978-984-33-0988-4.
- Cuignet, R. (2006), *Gestão da Manutenção*. Lisboa: Lidel.
- Dalalah, D., Al-Oqla, F., e Hayajneh, M., (2010). Application of the Analytic Hierarchy Process (AHP) in Multi- Criteria Analysis of the Selection of Cranes. *Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering*, Vol. 4, No. 5, pp. 567–578.
- Delf, A. e Nijkamp, P., (1976). A multi-objective decision model for regional development, environmental quality control and industrial land use. *Fifteenth European Congress of the Regional Science Association*, Vol. 36, pp. 35-57.
- Dessouky, Y.M. e Bayer, A. (2002). A simulation and design of experiments modeling approach to minimize building maintenance costs. *Computers & Industrial Engineering*, Vol.43, No.3, pp.423-436.
- Dias, J.A.M., Requeijo, J.G., Leal, R.P. e Pereira, Z.L., (2007). Otimização do Período de substituição Preventiva de Componentes em Função dos Custos. *Artigo publicado nas actas do 8º Congresso Ibero-americano de Engenharia Mecânica (23 e 25 de Outubro)*, Cusco, Peru.
- Dias, J.A.M. (2002). *Fiabilidade em Redes de Distribuição de Energia Eléctrica*. Tese de doutoramento. Lisboa: Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Departamento de Engenharia Mecânica e Industrial.
- Dias, J.A.M., Pereira, Z.L. e Leitão, A.L.F., (1999). Sistemas Reparáveis: Modelos de Fiabilidade, *Actas do Seminário "Segurança, Fiabilidade e Análise de Avarias"*, Escola Naval, Base Naval de Lisboa.
- Dias, J., Figueira, J. e Roy, B., (2006). *The Software ELECTRE III-IV, Methodology and User Manual (version 3.x)*. University Paris-Dauphine, France.
- Dulmin, R., e Mininno, V., (2003). Supplier selection using a multi-criteria decision aid method. *Journal of Purchasing and Supply Management*, Vol. 9, No. 4, pp.177–187.

- Durán, O., (2011). Computer-aided maintenance management systems selection based on a fuzzy AHP approach. *Advances in Engineering Software*, Vol. 42, No.10, pp. 821–829.
- Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R. e Liston, K., (2011). *BIM Handbook – A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors*. Second Edition. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Ermatita, Hartati, S., Wardoyo, R. e Harjoko, A., (2011). ELECTRE methods in solving group decision support system bioinformatics on gene mutation detection simulation. *International Journal of Computer Science & Information Technology*, Vol. 3, No. 1, pp. 40-52.
- Espadinha-Cruz, P., Cabral, I., Grilo, A. e Cruz-Machado, V., (2012). Information Model for LARGeSCM Interoperable Practices. *Proceedings of the 34th International Conference on Information Technology Interfaces*, 25-28 de Junho, Cavtat, Croacia. Doi:10.2498/iti.2012.0473
- Ferreira, L.A. (1998). *Uma Introdução à Manutenção*. Porto: Publindustria.
- Figueira, J., Greco, S., Roy, B. e Slowinski, R., (2013). An Overview of ELECTRE Methods and their Recent Extensions. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, Anal. 20, pp. 61–85.
- Figueira, J., Almeida-Dias, J., Matias, S., Roy, B., Carvalho, M. e Plancha, C., (2011). ELECTRE TRI-C, a multiple criteria decision aiding sorting model applied to assisted reproduction. *International Journal of Medical Informatics*, Vol. 80, pp. 262-273.
- Figueira, J., Greco, S. e Ehrgott, M., (2005). Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys. *International Series in Operations Research and Management Science*, Vol. 78.
- Figueira, J. e Roy, B., (2002). Determining the weights of criteria in the ELECTRE type methods with a revised Simos' procedure. *European Journal of Operational Research*., Vol. 139, No. 2, pp.317–326.
- Figueira, S., Cruz-Machado, V. e Nunes, I., (2012). Integration of human factors principles in LARG organizations – a conceptual model. *A Journal of Prevention, Assessment and Rehabilitation*, Vol. 41, No. 1, pp. 1712-1719. Doi: 10.3233/WOR-2012-0374-1712.
- Florio, W., (2007). *Tecnologia da Informação na Construção Civil: Contribuições do Building Information Modeling no Processo de Projecto em Arquitectura*. III Forum de Pesquisa FAU-MACKENZIE. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Presbiteriana Mackenzie. Brasil: São Paulo.
- Florio, W., (2007). *Contribuições do Building Information Modeling no Processo de Projecto em Arquitectura*. Seminário TIC 2007 – III Encontro de Tecnologia da Informação e Comunicação na Construção Civil. Brasil: Porto Alegre.
- Flores-Colen, I., e Brito, J., (2010). A systematic approach for maintenance budgeting of buildings façades based on predictive and preventive strategies. *Construction and Building Materials*, Vol. 24, No. 9, 1718–1729.
- Forster, A., Carter, K., Banfill, P. e Kayan, B., (2011). Green maintenance for historic masonry buildings: an emerging concept. *Building Research and Information*, Vol. 39, No. 6, pp. 37-41.
- Geyer, P., (2009). Component-oriented decomposition for multidisciplinary design optimization in building design. *Advanced Engineering Informatics*, Vol. 23, No. 1, pp.12-31.

- Gonçalves, C., Dias, J., e Cruz-Machado, V. (2014a). Decision methodology for maintenance KPI selection – based on ELECTRE I. 21–22 July 2014. In J. Xu, V. A. Cruz-Machado, B. Lev, & S. Nickel (Eds.), *Proceedings of the Eighth International Conference on Management Science and Engineering Management*. Lisbon, Part V, Paper 87 (pp. 1001–1014), Vol. 281 of *Advances in Intelligent Systems and Computing*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. Doi:10.1007/978-3-642-55122-2_87.
- Gonçalves, C., Dias, J. e Cruz-Machado, V. (2014b). Multi-criteria decision methodology for selecting maintenance key performance indicators. *International Journal of Management Science and Engineering Management*, Taylor & Francis. Publicado online: 10 setembro, <http://dx.doi.org/10.1080/17509653.2014.954280>
- Gonçalves, C. (2008). *Gestão da Manutenção em Edifícios*. Módulo do curso de formação “Gestão da Manutenção no âmbito do RSECE”. Instituto Superior de Engenharia da Universidade do Algarve, 11 de julho.
- Gonçalves, C. e Mortal, A. (2005). A Gestão da Manutenção nos Hotéis de 4 e 5 Estrelas no Algarve. Artigo e comunicação apresentada no 8º Congresso Nacional de Manutenção (APMI), AIP/FIL, Lisboa.
- Gonçalves, C. (2005). *Gestão da Manutenção de um Sistema de Cozedura na Indústria Cimenteira*. Tese de Mestrado em Engenharia Industrial. Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologia.
- Gonçalves, A., Ferreira, L., Cardoso, A., Carvalho, E., Dias, J.M. e Jordão, P., (2013). A Engenharia de Manutenção integrada numa política de “Physical Asset Management” ou Gestão de Ativos Físicos. *Revista Ingenium*, II Série, n.º 137, Setembro/Outubro de 2013, pp. 86-90.
- Grilo, A., Cabral, I., Espadinha-Cruz, P., Puga-Leal, R. e Cruz-Machado, V., (2011). Decision-Making Models for Interoperable, Lean, Agile, Resilient and Green Supply Chains. *Proceedings of the International Symposium on the Analytic Hierarchy Process*. Disponível em: http://isahp.lascomedia.com/dati/pdf/66_0167_Grilo.pdf. Acesso em: 3 de julho de 2014.
- Grilo, A. e Tavares, L., (2008). *Building Information Model e a Competitividade do sector da Construção*. Lisboa: OPET – Observatório de Prospectiva da Engenharia e da Tecnologia.
- Grilo, A., (2008). *Roadmap para Implantação do BIM*. Publicado em: Grilo, António e Tavares, Luís V. (2008), *Building Information Model e a Competitividade do sector da Construção*. Lisboa: OPET – Observatório de Prospectiva da Engenharia e da Tecnologia.
- Guimarães, R.C. e Cabral, J.A.S. (1997). *Estatística*. Lisboa: McGraw-Hill.
- Guo, Y., (2010). A Decision Method for M-Commerce Partner Selection Based on AHP/ELECTRE I. *Journal of Computational Information Systems*, Vol. 6, No. 9, pp. 3077–3086.
- Hagedorn, B., e Döllner, J., (2007). High-Level Web Service for 3D Building Information Visualization and Analysis. *Proceedings 15th ACM International Symposium on Geographic Information Systems, ACM-GIS 2007*, November 7-9, 2007, Seattle, Washington, Doi: 10.1145/1341012.1341023.
- Haldar, A., Ray, A., Banerjee, D. e Ghosh, S., (2012). A hybrid MCDM model for resilient supplier selection. *International Journal of Management Science*, Vol. 7, No. 4, pp. 284-292.
- Hatami-Marbini, A. e Tavana, M., (2011). An extension of the Electre I method for group decision-making under a fuzzy environment. *Omega*, Vol. 39, No. 4, pp. 373–386.

- Horenbeek, A., e Pintelon, L., (2014). Development of a maintenance performance measurement framework – using the analytic network process (ANP) for maintenance performance indicator selection. *Omega*, Vol. 42, No. 1, pp. 33-46.
- Ic, Y., Yurdakul, M. e Eraslan, E., (2013). Development of a component-based machining centre selection model using AHP. *International Journal of Production Research*, Vol. 50, No. 22, pp. 37-41.
- Ishizaka, A., Pearman, C. e Nemery, P., (2012). AHPSort: an AHP-based method for sorting problems. *International Journal of Production Research*, Vol. 50, No. 17, pp. 4767-4784.
- Yazdani-Chamzini, A., Yakhchali, S. e Mahmoodian, M., (2013). Risk ranking of tunnel construction projects by using the ELECTRE technique under a fuzzy environment. *International Journal of Management Science and Engineering Management*, Vol. 8, No.1, pp. 1-14.
- Yile, L., Xuehang, X., e Lei, Z., (2008). Lean Maintenance Framework and its Application in Clutch Maintenance. *International Conference on Information Management, Innovation Management and Industrial Engineering*, IEEE Computer Society, pp. 230-232, Doi: 10.1109/ICIII.2008.84
- Yoon, K. P. e Hwang, C.-L., (1995). *Multiple Attribute Decision Making: An introduction*. Sage University Paper series on Quantitative Applications in the Social Sciences. Thousand Oaks, CA: Sage: 07-104. ISBN: 0-8039-5486-7.
- Kaya, T. e Kahraman, C., (2011). An integrated fuzzy AHP–ELECTRE methodology for environmental impact assessment. *Expert Systems with Applications*, Vol. 38, No. 7, pp. 8553–8562.
- Kennedy, R. (2006). “Examining the Processes of RCM and TPM: What do they ultimately achieve and are the two approaches compatible?”. The Centre for TPM (Australásia), 1–15. Disponível em: <http://www.plant-maintenance.com/articles/RCMVvsTPM.pdf>. Acesso em 14 de setembro de 2014.
- Kaya, T. e Kahraman, C., (2011). An integrated fuzzy AHP–ELECTRE methodology for environmental impact assessment. *Expert Systems with Applications*, Vol. 38, No. 7, pp. 8553–8562.
- Khosrowshahi, F. e Alani, A., (2011). Automation in Construction. *Automation in Construction*, Vol. 20, No. 2, pp.145-154.
- Koksalan, M., Wallenius, J., e Zionts, S., (2013). An Early History of Multiple Criteria Decision Making. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, Vol. 20, pp. 87–94.
- Kumar, U., Galar, D., Parida, A., Stenstrom, C. e Berges, L., (2013a). Maintenance performance metrics : a state-of-the-art review. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, Vol. 19, No. 3, pp. 233-277.
- Kumar, J., Soni, V. e Agnihotri, G., (2013b). Maintenance Performance Metrics for Manufacturing Industry. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, Vol. 2, No. 2, pp. 136–142.
- Kwon, S., Chun, C., e Kwak, R., (2011). Relationship between quality of building maintenance management services for indoor environmental quality and occupant satisfaction. *Building and Environment*, vol. 46, no. 11, pp. 2179–2185.
- Lampreia, S., & Parreira, R. (2011). Manutenção lean com aplicação técnicas qualidade na análise preditiva de fiabilidade. *Revista Manutenção*, 3º e 4º trimestre, nº110-111, pp. 58-60.

- Lee, H. e Scott, D., (2009). Strategic and operational factors influence on the management of building maintenance operation processes in sports and leisure facilities, Hong Kong. *Journal of Retail & Leisure Property*, Vol.8, No. 1, pp. 25-37.
- Leocádio, M., (2004). *Sobre a Incorporação RAMS no Desenvolvimento de Produtos de Base Tecnológica: Uma Abordagem Holística a Veículos Ferroviários*. Tese de Mestrado em Engenharia e Gestão de Tecnologia, Universidade de Lisboa, Instituto Superior Técnico.
- Leon, P., Díaz, V., Martínez, L. e Márquez, A. (2012). A practical method for the maintainability assessment in industrial devices using indicators and specific attributes. *Reliability Engineering and System Safety*, Vol. 100, pp. 84–92.
- Levitt, J., (1997). *The Handbook of Maintenance Management*. New York. Industrial Press, Inc.
- Likert, R. A., (1932). Technique for measurement of attitudes. *Archives of Psychology*, Vol. 140, No. 1, pp. 5-55.
- Lin, Yu-Cheng e Su, Yu-Chih, (2013). Developing mobile - and BIM - based integrated visual facility maintenance management system. *The Scientific World Journal*, Vol. 2013, Article ID 124249.
- Linzmayer, E. (2004). *Guia básico para a administração da Manutenção hoteleira*. 3ª Edição. São Paulo: Editora Senac São Paulo.
- Liu, P. e Zhang, X., (2011). Research on the supplier selection of a supply chain based on entropy weight and improved ELECTRE-III method. *International Journal of Production Research*, Vol. 49, No. 3, pp. 637-646.
- Luxhoj, J., Riis, J. e Thorsteinsson, U., (1997). Trends and perspectives in industrial maintenance management. *Journal of Manufacturing Systems*, Vol.16, No. 6, 437–453.
- Maleki, M., Espadinha-Cruz, P., Valente, R. e Cruz-Machado, V., (2011). Supply Chain Interaction methodology: LARGe Supply Chain. *Encontro Nacional de Engenharia e Gestão Industrial (ENEIGI)*, Universidade do Minho, Escola de Engenharia, Guimarães, pp. 57-66.
- Hatami-Marbini, A. e Tavana, M., (2011). An extension of the Electre I method for group decision-making under a fuzzy environment. *Omega*, Vol. 39, No. 4, 373-386.
- Mather, D., (2007). Lean vs Lean Maintenance. Plant Service. Disponível em: <http://www.plantservices.com/articles/2007/110/>. Acesso em: 06 de Julho de 2014.
- Hatami-Marbini, A., e Tavana, M., (2011). An extension of the Electre I method for group decision-making under a fuzzy environment. *Omega*, Vol. 39, No. 4, 373-386.
- Marzouk, M., (2011). ELECTRE III model for value engineering applications. *Automation in Construction*, Vol. 20, pp. 596-600.
- McCarthy, D. e Rich, N. (2004). *Lean TPM – A Blueprint for Change*. Oxford, England: Elsevier Butterworth-Heinemann.
- Miller, G. A., (1954). The Magical Number Seven, Plus or Minus Two: Some Limits on Our Capacity for Processing Information. *Psychological Review*, Vol. 101, No. 2, pp. 343-352. <http://dx.doi.org/10.1037/0033-295X.101.2.343>.
- Motawa, I. e Almarshad, A. (2013). A knowledge-based BIM system for building maintenance. *Automation in Construction*, Vol. 29, 173-182.

- Muchiri, P., Pintelon L., Gelders L. e Martin, H., (2011). Development of maintenance function performance measurement framework and indicators. *International Journal of Production Economics*, Vol. 131, No. 1, pp. 295-302.
- Muchiri, P., Pintelon, L., Martin, H. e Meyer, A., (2010). Empirical Analysis of Maintenance Performance Measurement in Belgian Industries, *International Journal of Production Research*, Vol.48, No. 20, pp.5905-5924.
- Muchiri, P. e Pintelon, L., (2008). Performance measurement using overall equipment effectiveness (OEE): literature review and practical application discussion. *International Journal of Production Research*, Vol. 46, No. 13, pp. 3517-3535.
- Nakajima, S., (1988). *Introduction to TPM*. Productivity Press, Cambridge, MA.
- Nazeri, A., Meftahi, H. e Awaluddin, P., (2011). Supplier Evaluation and Selection in SCM using Fuzzy AHP. *3rd International Conference on advanced management Science*, Vol. 19, pp. 143-147.
- Nguyen, T., Shehab, T. e Gao, Z., (2010). Evaluating Sustainability of Architectural Designs Using Building Information Modeling. *The Open Construction and Building Technology Journal*, Vol.4, No. 1, pp.1-8.
- Niebel, B. W. (1994). *Engineering Maintenance Management*. Second Edition. New York. Marcel Dekker, Inc.
- NP 4483, (2009). *Guia para a implementação do sistema de gestão da manutenção*. Instituto Português da Qualidade.
- NP 4397, (2008). *Sistemas de Gestão da Segurança e Saúde no Trabalho*. Instituto Português da Qualidade.
- NP EN 13269, (2007). *Manutenção – Instruções para a preparação de contratos de manutenção*. Versão portuguesa da EN 13269:2006. Instituto Português da Qualidade.
- NP EN 13306, (2007). *Terminologia da Manutenção*. Versão portuguesa da EN 13306:2001. Instituto Português da Qualidade.
- NP EN 13460, (2009). *Documentação para a manutenção (presentes num sistema de gestão da manutenção)*. Instituto Português da Qualidade.
- NP EN 15341, (2009). *Manutenção – Indicadores de desempenho da manutenção (KPI)*. Versão portuguesa da EN 15341:2007. Instituto Português da Qualidade.
- NP EN ISO 14000, (2012). *Sistemas de gestão ambiental. Requisitos e linhas de orientação para a sua utilização*. Instituto Português da Qualidade.
- NP EN ISO 50001, (2012). *Sistemas de gestão de energia – Requisitos e linhas de orientação para a sua utilização*. Instituto Português da Qualidade.
- Ohno, T., (1998). *The Toyota Production System*. Productivity Press, Portland.
- OHSAS 18000, (2007). *Occupational Health and Safety Assessment Series*.
- Pacaiova, H., Nagyova, A., Namesanska, J. e Grecik, J., (2013). Systematic Approach in Maintenance Management Improvement. *International Journal of Strategic Engineering Asset Management*, Vol.1, No. 3, 228-237.
- Parida, A. e Kumar, U., (2009). *Maintenance Productivity and Performance Measurement*. Handbook of Maintenance Management and Engineering. Ben-Daya; S.O. Duffuaa; A. Raouf; J. Knezevic; D. Ajt-Kadi (Eds.), Springer: Harcover. ISBN: 978-1-84882-471-3.

- Pang, B., (2007). Multi-criteria Supplier Evaluation Using Fuzzy AHP. Proceedings of *International Conference on Mechatronics and Automation*, pp. 2357-2362, Doi:10.1109/ICMA.2007.4303922
- Pang, J., Zhang, G. e Chen, G., (2011). ELECTRE I Decision Model of Reliability Design Scheme for Computer Numerical Control Machine. *Journal of Software*, Vol. 6, No. 5, pp. 894-900.
- Pinto, J., (2011). Repensar a função manutenção centrado-a no pensamento *lean*. *Revista Manutenção*, Nº 110-111, 3º e 4º Trimestre de 2011, pp 73-75.
- Pohekar, S. e Ramachandran, M. (2004). Application of multi-criteria decision making to sustainable energy planning—A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 8, No. 1, pp. 365-381.
- Quan, G., Greenwood, G., Liu, D. and Hu, S., (2007). Searching for multiobjective preventive maintenance schedules: Combining preferences with evolutionary algorithms. *European Journal of Operational Research*, Vol. 177, No. 3, pp.1969–1984.
- Rebbeck, P., (2008). *Building Information Model (BIM): The Client’s View*. Publicado em: Grilo, António e Tavares, Luis V. (2008), *Building Information Model e a Competitividade do sector da Construção*. Lisboa: OPET – Observatório de Prospetiva da Engenharia e da Tecnologia.
- Rocha, M., (2011). *Métodos de Classificação Multicritério com classes parcialmente ordenadas*. Tese de doutoramento em Gestão – Ciências Aplicadas à Decisão, Faculdade de Economia, Universidade de Coimbra.
- Rocha, P., (2005). *Metodologias de conceção arquitetónica com base na perspetiva da Manutenção*. Tese de Mestrado em Reabilitação do Património Edificado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Roy, B., Figueira, J., e Almeida-Dias, J. (2014). Discriminating thresholds as a tool to cope with imperfect knowledge in multiple criteria decision aiding : Theoretical results and practical issues. *Omega*, Vol.43, pp. 9-20.
- Roy, B., (1996). *Multicriteria Methodology for Decision Aiding*. Dordrecht, Holland: Kluwer Academic Publishers.
- Roy, B., (1991). The outranking approach and the foundations of ELECTRE methods. *Theory and Decisions*, Vol. 31, No. 1, pp. 49-73.
- Roy, B., (1978). ELECTRE III: Un algorithme de methode de classements fonde sur une representation floue des préférences en presence de critères multiples. *Cahieres de CERO*, Vol. 20, No.1, pp. 3-24.
- Roy, B., (1968). Classement et choix en presence de points de vue multiples: La methode ELECTRE. *Revue Francaise d’Informatique et de Recherche Operationnelle*, Vol. 8, pp. 57-75.
- Saaty, T. L., (1980). *The Analytic Hierarchy Process*. New York: Wiley.
- Saaty, R. W., (1987). The Analytic Hierarchy Process - What is and what it is used. *Mathl Modelling*, Vol. 9, No.3-5, pp. 161–176.
- Saaty, T. L. (1990). An Exposition of the AHP in Reply to the Paper “Remarks on the Analytic Hierarchy Process.” *Management Science*, Vol. 36, No. 3, 259–268.
- Saaty, T. and Ozdemir, M. (2003). Why the magic number seven plus or minus two. *Mathematical and Computer Modelling*, Vol. 38, No.3-4, pp. 233-244.

- Saaty, T.L., (2004). Decision Making - the Analytic Hierarchy and Network Processes (AHP/ANP). *Journal of Systems Science and Systems Engineering*, Vol. 13, No. 1, pp. 1-35.
- Saaty, T. L., Peniwati, K., & Shang, J. S. (2007). The analytic hierarchy process and human resource allocation: Half the story. *Mathematical and Computer Modelling*, Vol. 46, No. 7-8, 1041-1053.
- Saaty, T.L., (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Services Sciences*, Vol. 1, No. 1, pp. 83-98.
- Saltzer, M. (2006). Archiving World Class Asset Management Performance, Maintenance and Management, Vol. 21, No. 4, pp. 5-19.
- Sánchez, A. e Pérez, M., (2001). Lean indicators and manufacturing strategies. *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 21, No. 11, 1433–1452.
- Sardinha, A., (2010). BIM Bang – Um novo Paradigma na Construção. *Magazine Digital eUAU – Novembro de 2010* (www.tecad.pt).
- Sevкли, M., (2010). An application of the fuzzy ELECTRE method for supplier selection. *International Journal of Production Research*, Vol. 48, No. 12, pp. 3393–3405.
- Shanian, A. e Savadogo, O., (2006). ELECTRE I decision support model for material selection of bipolar plates for Polymer Electrolyte Fuel Cells applications. *Journal of New Materials for Electrochemical Systems*, Vol. 9, No. 3, pp. 191–199.
- Silviero, L. A., (2010). *Aplicação da tecnologia BIM na Gestão e Manutenção de Edifícios Históricos da UFRGS*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, Brasil.
- Simos, J., (1990) *Gestion des Déchets Solides Urbains Genevois: Les Faits, le Traitement, l'Analyse*. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne.
- Smith, R. e Hawkins, B. (2004). *Lean Maintenance: Reduce Costs, Improve Quality and Increase Market Share*. Oxford, England: Elsevier Inc.
- Sobral, J., (2010). *Utilização da Metodologia “RAMS” na Análise de Barreiras de Segurança de Instalações Industriais de Risco Elevado*. Tese de Doutorado. Universidade do Porto, Faculdade de Engenharia (FEUP), Porto.
- Sobral, J. e Ferreira, L., (2007). Análise e Tratamento de Parâmetros Reais de Degradação de Componentes na Óptica da Manutenção Condicionada. 9º Congresso Nacional de Manutenção (APMI), Centro de Congressos da EXPONOR, Leça da Palmeira, 22 e 23 de novembro.
- Stenstrom, C., Parida, A., Kumar, U. e Galar, D., (2011). Maintenance Value Drivers, Killers and their Indicators. *International Conference on Maintenance Performance Measurement and Management*. Conference Proceeding, pp. 125-130. Lulea, Sweden. ISBN: 978-91-7439-379-8.
- Soderholm., P. e Norrbin, P., (2011). A Risk-based Dependability Approach to Link Maintenance Performance Measurement and Management to Overall Objectives – A Case Study within the Swedish Railway. *International Conference on Maintenance Performance Measurement and Management*. Conference Proceeding, pp. 241-247. Lulea, Sweden. ISBN: 978-91-7439-379-8.
- Tervonen, T., Figueira, J., Lahdelma, R., Dias, J. e Salminen, P., (2009). A stochastic method for robustness analysis in sorting problems. *European Journal of Operational Research*, Vol. 192, No. 1, pp. 236-242.

- Triantaphyllou, E., Kovalerchuk, B., Mann, L. e Knapp, J., (1997). Determining the most important criteria in maintenance decision making. *Quality in Maintenance Engineering*, Vol. 3, No. 1, pp. 16-28.
- Tsang, A.H.C. e Chan, P.K. (2000). TPM Implementation in China: A Case Study, *International Journal of Quality & Reliability Management*, Vol.17, No.2, pp. 144-157.
- Vahdani, B. e Hadipour, H., (2011). Extension of the ELECTRE method based on interval-valued fuzzy sets. *Soft Computing*, Vol. 15, No. 3, pp. 569–579.
- Vercellis, C., (2009). *Business Intelligence: Data Mining and Optimization for Decision Making*, John Wiley & Sons, Ltd., United Kingdom. ISBN: 978-0-470-51138-1.
- Wang, L., Chu, J. and Wu, J., (2007). Selection of optimum maintenance strategies based on a fuzzy analytic hierarchy process. *International Journal of Production Economics*, Vol. 107, No. 1, pp. 151–163.
- Wang, Y., (2009). An Application of the AHP in Supplier Selection of Maintenance and Repair Parts. *First International Conference on Information Science and Engineering*, pp. 4176–4179, Doi: 10.1109/ICISE.2009.237.
- Wilde, P., Tian, W. e Augenbroe, G., (2011). Longitudinal prediction of the operational energy use of buildings. *Building and Environment*, Vol. 46, No. 8, 1670–1680.
- Wind and Saaty (1980). Marketing Applications of the Analytic Hierarchy Process. *Management Science*, Vol. 26, No 7, pp. 641-658.
- Wireman, T., (1998). *Developing Performance Indicators for Managing Maintenance*. New York: Industrial Press, Inc.
- Wu, M. e Chen, T., (2011). The ELECTRE multicriteria analysis approach based on Atanassov's intuitionistic fuzzy sets. *Expert Systems with Applications*, Vol. 38, No. 10, pp. 12318–12327.
- Zandi, A. e Roghanian, E., (2013). Extension of Fuzzy ELECTRE based on VIKOR method. *Computers and Industrial Engineering*. Vol. 66, No. 2, pp. 258–263.
- Zhou, P., Ang, B. e Poh, K., (2006). Decision analysis in energy and environmental modelling: An update. *Energy*, Vol. 31, No. 14, pp. 2604 – 2622.

ANEXO I

Contribuições do BIM no apoio à gestão da manutenção LARG em edifícios

Os quadros seguintes expõem os principais contributos e/ou benefícios que o BIM pode fornecer à gestão da manutenção em integração com os paradigmas LARG.

LEAN
<ul style="list-style-type: none">• Entrega do edifício com maior qualidade e melhor desempenho, redução de erros e contribuições para uma manutibilidade mais eficiente;• Não existe desperdício de tempo nem custo com a introdução de dados e informação sobre os ativos;• Concentra num único modelo digital as informações relevantes do projeto e construção e permite armazenar informação ao longo do ciclo de vida do edifício;• Partilha de informação com todos os setores da empresa para maior eficiência e resultados do negócio;• Informação associada ao próprio objeto (ativo) no modelo 3D;• Processo de gestão da manutenção mais racional e dinâmico, proporcionando melhores práticas no conceito de <i>Lean Manintenance</i>;• Ganhos de produtividade através da otimização das equipas de trabalho, eliminação de esforços redundantes;• Diminuição dos tempos na consulta de informação e dados, concentra mais tempo para análise e gestão;• Acelera os processos da atividade da manutenção;• Redução de desperdícios, evitando reparações erradas e retrabalho;• Precisão dos trabalhos com menor custo e menos desperdício de tempo;• Melhor controlo dos custos associados aos materiais e horas de mão-de-obra;• Otimização das necessidades de compra com a evolução dos trabalhos de manutenção;• Apoio no planeamento e programação das atuações;• Estudo e análise das condições de trabalho, prevenção de acidentes;• Melhoraria da qualidade do serviço da manutenção, otimização da vida útil dos ativos;• Análise mais proativa de fenómenos que possam afetar a funcionalidade do edifício;• Simulação para avaliar alternativas para melhor economia de energia e redução de custos em geral, conferindo mais qualidade, conforto e imagem do edifício;• Dados financeiros, custos, preços, orçamentação e produção de cadernos de encargos;• Maior exatidão na quantificação de materiais para a manutenção e no custo para orçamentação de trabalhos contratados.• Facilita o entendimento e a comunicação durante o processo de negociação e pagamento de serviços de manutenção contratados;• Integração do modelo BIM com um CMMS proporciona eficiência na gestão da manutenção, recuperando o investimento a curto prazo.

Figura I.1 – Contribuições do BIM para a manutenção *Lean*

AGILE
<ul style="list-style-type: none">• Concentra num único modelo digital informações/dados do projeto e de como o edifício foi realmente construído, permitindo armazenar informação ao longo do ciclo de vida do edifício;• Facilidade em navegar no modelo 3D com informação relativa a todo o ciclo de vida do edifício;• Informação detalhada dos materiais, equipamentos, sistemas e todos os ativos físicos que lhe dão funcionalidade;• Informação sobre as condições de acessibilidade e manutibilidade dos ativos físicos;• Ambiente colaborativo nos trabalhos em equipa e sincronia com os distintos setores da empresa;• Proporciona melhor planeamento do processo de manutenção com informação classificada e estruturada;• Análise das taxas de ocupação do edifício para programação da manutenção, garantindo a máxima disponibilidade;• Informação técnica detalhada para apoio às atuações da manutenção;• Informação de tempos de execução, montagem e operação, para estimativa de prazos;• Automatização e redução dos tempos de realização das tarefas;• Detecção de erros, conflitos ou omissões das instalações;• Estudo das instalações e visualização de senários de trabalho, análise das condições para a manutenção no espaço e no tempo;• Apoio no planeamento das ações de manutenção preventiva (sistemática e condicionada);• Gerir os recursos humanos adstritos a distintas áreas de intervenção, com versatilidade;• Monitorização de sistemas de controlo em tempo real, interface com sensores e gestão operacional remota das instalações;• Simulação de etapas de alteração, operações de manutenção exigente, tempos e condições de execução do trabalho e segurança no trabalho;• Precisão na identificação de equipamentos, itens e dados importantes para atuações de manutenção;• Rapidez na entrega de dados para orçamentação de materiais ou contratação de serviços de manutenção;• Informação realista de todas as fases e especialidades de construção permitem maior certeza e confiança para atuações específicas e exigentes;• Possibilidade de relacionar e agregar informação importante da manutenção de todo o ciclo de vida do edifício. Facilidade em proceder a alterações ou correções de informação;• Agilidade em gerar planos e desenhos de pormenor em todo o edifício;• Uso do modelo BIM para o fabrico de componentes, condutas, estruturas, entre outros.

Figura I.2 – Contribuições do BIM para a manutenção *Agile*

RESILIENT
<ul style="list-style-type: none">• Concentra num único modelo digital todas as informações relevantes de todo o ciclo de vida do edifício;• Informação partilhada, mas com consulta e funcionalidades independentes, consoante o âmbito e a disciplina de cada setor da empresa;• Proporciona um ambiente de trabalho inovador e promove a autoestima e motivação dos colaboradores na organização. Contribuindo para a melhoria do desempenho dos colaboradores;• Incentiva os colaboradores a testar, simular, analisar situações distintas, materiais diferentes para encontrar soluções mais vantajosas;• Cria oportunidades de análise, alertas, simulações e novas contribuições na gestão da manutenção;• Possibilita respostas mais rápidas na resolução de problemas, o que se reflete em melhores resultados no negócio da organização;• Alarga os horizontes dos colaboradores no desempenho de um trabalho de qualidade do serviço;• O estudo da manutibilidade do edifício pode conferir resiliência às equipas de manutenção que detenham o conhecimento pleno de como intervir;• Análise e estudo antecipado das acessibilidades aos locais a intervir, como transportar, como montar;• Visão ampla e/ou global dos locais a intervir sem depender de tempo com inspeções ao local para delinear a “tática”;• Informação rápida e precisa sobre as atividades de manutenção nas instalações. Facilidade de troca e atualização de informação;• Fornece dados para simulação de potenciais catástrofes e/ou incursões terroristas, planos de salvamento, de emergência e de inspeção;• Simulação de cenários de incêndio e de salvamento. Prevenção e combate de incêndio. Definição de medidas e percursos para a evacuação de pessoas;• Estudo e análise de segurança e saúde no edifício (localização de materiais e substâncias nocivos ao homem, qualidade do ar interior, adequação da iluminação);• Detecção de colisões nas instalações, perceção de erros nas instalações e diminuição de novos erros por incoerência;• Proporciona rápida reação a problemas ou situações disruptivas tornando mais eficiente a atuação da manutenção;• Mais rápida análise e quantificação de recursos necessários em situações de manutenção corretiva de urgência;• Maior versatilidade e confiança na tomada de decisão frente a situações de imprevisto;• Facilita a comunicação e o entendimento entre os intervenientes do processo de manutenção durante a análise e a resolução de situações disruptivas;• Facilita a comunicação entre os colaboradores ao reportarem e descrevem problemas nas instalações, entre os gestores da manutenção e os técnicos, internos ou externos;• Deter a informação suficiente dos produtos, dos materiais, das ferramentas e dos equipamentos necessários e disponíveis para qualquer operação da manutenção;• Informação atualizada e disponível para qualquer intervenção necessária. Apoio na tomada de decisão face a situações de emergência no edifício;• Diminuição de decisões ineficientes.

Figura I.3 – Contribuições do BIM para a manutenção *Resilient*

GREEN
<ul style="list-style-type: none">• Análise de emissões de poluentes gasosas, efluentes líquidos e resíduos sólidos;• Avaliação do impacto dos gases de efeito de estufa produzidos pelo edifício;• Estudo e gestão dos processos de recolha e tratamento de resíduos;• Análise de práticas de manutenção com risco de contaminação ambiental;• Análise de situações, sistemas e avarias com risco de causar danos ambientais;• Apoio na avaliação para certificação ambiental no âmbito de metodologias e normas existentes;• Contribuir para a obtenção de certificação ambiental e energética;• Análise de eficiência energéticas através da interface com software de simulação energética;• Verificação de medidas comportamentais na utilização do edifício face à eficiência energética, diagnóstico e análise de estratégias para correção de deficiências;• Apoio no estabelecimento de metas reais de consumo energético por unidade de área;• Dados para a simulação da eficiência energética ao longo de todo o ciclo de vida do edifício;• Dados para simulação da qualidade do ar interior, conforto térmico, ambiente visual, desempenho acústico, entre outros;• Estudo de sistemas energéticos e soluções para correção de deficiências no desempenho energético (características físicas do edifício, sistemas solares, ventilação, AVAC, sistemas de iluminação, sistemas de vapor);• Gestão eficiente da água, qualidade ambiental interna e externa, categorização de materiais e recursos ambientalmente recomendados;• Apoio para delinear as melhores estratégias de intervenção ambiental tendo em conta as exigências regulamentares e os objetivos pretendidos;• Colaborar na desmontagem de instalações, no desmantelamento dos edifícios, na reciclagem e reutilização dos materiais com exigências legais e normativas.

Figura I.4 – Contribuições do BIM para a manutenção *Green*

ANEXO II

KPIs propostos para avaliação LARG

As tabelas seguintes apresentam os KPIs pré-selecionados como possíveis alternativas para a avaliação de desempenho da gestão da manutenção nas quatro categorias LARG. A cada categoria LARG é atribuída a respetiva sigla com o índice “*m*” que representa o número de alternativas a considerar no processo de decisão. As siglas têm os seguintes significados:

L_m - Conjunto de alternativas (KPIs) para a categoria *Lean*

A_m - Conjunto de alternativas (KPIs) para a categoria *Agile*

R_m - Conjunto de alternativas (KPIs) para a categoria *Resilient*

G_m - Conjunto de alternativas (KPIs) para a categoria *Green*

Tabela II.1 – Lista de KPIs propostos para a categoria *Lean* (conjunto de alternativas)

L_m	Descrição dos KPIs	Fórmula de Cálculo
1	Desvio real do orçamentado da manutenção	Valor real do custo da manutenção/
		Valor do orçamento para manutenção
2	Rácio de custo manutenção/produção	Custo total de manutenção/
		Custo total de produção (operação)
3	Custo de manutenção por unidade de referência	Custo total da manutenção (€)/
		Nº de unidades de referência (passageiros)
4	Rácio de custo dos materiais de manutenção	Custo total dos materiais de manutenção/
		Custo total da manutenção
5	Rácio de custo da manutenção corretiva/total	Custo da manutenção corretiva/
		Custo total da manutenção
6	Rácio de custo da manutenção preventiva/total	Custo da manutenção preventiva/
		Custo total da manutenção
7	Índice de manutenção preventiva	Horas de mão-de-obra previstas das OTs de manutenção preventiva/
		Total de horas de mão-de-obra disponíveis do pessoal da manutenção
8	Índice de manutenção corretiva/preventiva	Horas de mão-de-obra das OTs de manutenção corretiva/
		Horas de mão-de-obra das OTs de manutenção preventiva
9	Índice de manutenção de melhoria	Horas de mão-de-obra das OTs de trabalho de melhoria/
		Horas de mão-de-obra das OTs de manutenção executadas
10	Índice de desempenho global da manutenção	Horas de mão-de-obra das OTs de manutenção executadas/
		Total de horas de mão-de-obra disponíveis da manutenção
11	Tempo médio de mão-de-obra por OT	Total de horas de mão-de-obra das OTs/
		Nº total de OTs
12	Índice OTs solicitadas	Nº de OTs solicitadas e não previstas/
		Nº total de OTs
13	Índice de OTs que excederam o tempo especificado ou previsto	Nº total de OTs que excederam o tempo especificado ou previsto/
		Nº total de OTs
14	Índice de OTs para retrabalho	Nº de OTs atribuídas para retrabalho/
		Nº total de OTs
15	Tempo médio de paragem para manutenção corretiva	Total de tempos de paragem para manutenção corretiva/
		Nº de OTs de manutenção corretiva
16	Taxa de ocorrência de avaria proporcional ao ano	(Nº de avarias no período de análise) x 365/
		Nº de dias do período de análise
17	Nº de avarias por cada 1000 unidade de referência (passageiros)	Nº de avarias no período em análise/
		(Nº de unidades de referência (passageiros)/1000)
18	Tempo médio de indisponibilidade operacional relacionado com manutenção	Tempo total de indisponibilidade dos ativos para atuação da manutenção (em tempo requerido)/
		Nº de atuações em tempo requerido
19	Índice de reclamações de clientes por causa imputada à manutenção	Nº de reclamações de clientes por causa imputada à manutenção/
		(Nº de passageiros/1000)

Tabela II.2 – Lista de KPIs propostos para a categoria *Agile* (Conjunto de alternativas)

A_m	Descrição dos KPIs	Fórmula de Cálculo
1	Índice de execução das Ots de manutenção preventiva dentro do tempo especificado	$\frac{\text{N}^\circ \text{ de OTs de manutenção preventiva executadas dentro do tempo especificado/}}{\text{N}^\circ \text{ total de OTs de manutenção preventiva}}$
2	Índice de qualidade da execução	$\frac{\text{N}^\circ \text{ de OTs planeadas executadas dentro do tempo especificado/}}{\text{N}^\circ \text{ total de OTs planeadas}}$
3	Índice de OTs que excederam o tempo especificado	$\frac{\text{N}^\circ \text{ de OTs que excederam o tempo especificado/}}{\text{N}^\circ \text{ total de OTs}}$
4	Índice de OTs para retrabalho (<i>rework</i>)	$\frac{\text{N}^\circ \text{ de OTs atribuídas para retrabalho/}}{\text{N}^\circ \text{ total de OTs}}$
5	Índice de qualidade do planeamento	$\frac{\text{N}^\circ \text{ de OTs requerendo retrabalho devido ao planeamento/}}{\text{N}^\circ \text{ total de OTs}}$
6	Capacidade de resposta do planeamento	$\frac{\text{N}^\circ \text{ de OTs em planeamento mais que 1 dia/}}{\text{N}^\circ \text{ total de OTs}}$
7	Índice de qualidade da programação	$\frac{(\text{N}^\circ \text{ total de OTs} - \text{N}^\circ \text{ de OTs com atraso de execução devido a falta de material ou mão-de-obra/})}{\text{N}^\circ \text{ total de OTs de manutenção preventiva}}$
8	Índice de qualidade da manutenção	$\frac{(\text{Total de horas de mão-de-obra disponíveis} - \text{Total de horas de mão-de-obra de retrabalho/})}{\text{Total de horas de mão-de-obra disponíveis}}$
9	Intensidade do planeamento	$\frac{\text{Total horas de mão-de-obra planeadas/}}{\text{Total horas de mão-de-obra disponíveis}}$
10	Índice de cumprimento na execução	$\frac{\text{Total de horas de mão-de-obra de OTs planeadas e executadas/}}{\text{Total de horas de mão-de-obra previstas de OTs planeadas}}$
11	Índice de trabalho planeado/executado	$\frac{\text{Total de horas de mão-de-obra planeadas/}}{\text{Total de horas de mão-de-obra executadas}}$
12	Índice de manutenção preventiva	$\frac{\text{Horas de mão-de-obra previstas das OTs de manutenção preventiva/}}{\text{Total de horas de mão-de-obra disponíveis do pessoal da manutenção}}$
13	Índice de execução de OTs de manutenção preventiva	$\frac{\text{N}^\circ \text{ de Ots de manutenção preventiva executadas/}}{\text{N}^\circ \text{ total de OTs previstas}}$
14	Índice de recalendarização de OTs de manutenção preventiva	$\frac{\text{N}^\circ \text{ de OTs de manutenção preventiva recalendarizadas por razões imputáveis aos serviços da manutenção/}}{\text{N}^\circ \text{ Total de OTs de manutenção preventiva previstas}}$
15	Tempo medio de encaminhamento de incidências	$\frac{\text{Total de tempos de encaminhamento de incidências/}}{\text{N}^\circ \text{ de incidências}}$
16	Tempo médio para diagnóstico	$\frac{\text{Total de tempos para diagnóstico das incidências/}}{\text{N}^\circ \text{ de incidências}}$
17	Tempo médio para assistir (MTTA - Mean Time To Assist)	$\frac{\text{Total de tempos entre a deteção e o início de reparação das incidências/}}{\text{N}^\circ \text{ de incidências}}$
18	Tempo médio operacional para reparar (MTTR – Mean Time To Repair)	$\frac{\text{Tempo total de reparações/}}{\text{N}^\circ \text{ total de avarias}}$
19	Tempo médio de indisponibilidade operacional relacionado com manutenção	$\frac{\text{Tempo total de indisponibilidade dos ativos para atuação manutenção (em tempo requerido/)}}{\text{N}^\circ \text{ de atuações em tempo requerido}}$
20	Índice de competências multidisciplinares	$\frac{\text{N}^\circ \text{ de pessoas da manutenção com competências multidisciplinares/}}{\text{N}^\circ \text{ total de pessoas da manutenção}}$
21	Índice de utilização de <i>software</i> pelo pessoal da manutenção	$\frac{\text{N}^\circ \text{ de pessoas da manutenção que utiliza software/}}{\text{N}^\circ \text{ total de pessoas da manutenção}}$
22	Índice de horas de formação da manutenção	$\frac{\text{Horas de formação do pessoal de manutenção/}}{\text{Total de horas de mão-de-obra utilizadas na manutenção}}$
23	N.º médio de horas de formação por colaborador por ano	$\frac{\text{Total de horas de formação realizadas (ano/)}}{\text{N}^\circ \text{ de pessoal da manutenção}}$
24	Custo da formação por pessoa da manutenção	$\frac{\text{Custo total de formação da manutenção/}}{\text{N}^\circ \text{ de pessoas da manutenção}}$

Tabela II.3 – Lista de KPIs propostos para a categoria *Resilient* (Conjunto de alternativas)

R_m	Descrição dos KPIs	Fórmula de Cálculo
1	Índice de acidentes de trabalho no setor da manutenção por cada 1000 unidades de referência	Nº de acidentes de trabalho na manutenção/
		(Nº de unidades de referência (passageiros)/1000)
2	Índice de avarias com acidentes pessoais	Nº de avarias que provocaram acidentes pessoais/
		Nº total de avarias
3	Índice de risco de acidentes pessoais	Nº de avarias que poderão provocar acidentes pessoais/
		Nº total de avarias
4	Índice de acidentes pessoais por avaria com risco	Nº de avarias que provocaram acidentes pessoais/
		Nº de avarias que poderão provocar acidentes pessoais
5	Índice de ações de prevenção de acidentes pessoais e ambientais por acidente ocorrido	Nº de ações com intuito na minimização de acidentes pessoais e ambientais/
		Nº de acidentes pessoais e ambientais
6	Taxa de ações de divulgação de conteúdos técnicos	Nº de ações de divulgação de conteúdos técnicos/
		Período de análise
7	Taxa de ações de simulação de situações disruptivas (simulacros)	Nº de ações de simulação de situações disruptivas/
		Período de análise
8	Média de horas de mão-de-obra em manutenção corretiva de urgência	Total de horas de mão-de-obra das OTs de manutenção corretiva de urgência/
		Nº OTs de manutenção corretiva de urgência
9	Tempo médio sem serviço esperando materiais ou mão-de-obra em manutenção corretiva de urgência	Total de tempos sem serviço esperando materiais ou mão-de-obra nas OTs de manutenção corretiva de urgência/
		Nº OTs de manutenção corretiva de urgência
10	Índice manutenção corretiva de urgência	Horas de mão-de-obra das OTs de manutenção corretiva de urgência/
		Horas de mão-de-obra das OTs de manutenção corretiva/
11	Tempo médio para diagnóstico	Total de tempos para diagnóstico das incidências/
		Nº de incidências
12	Tempo médio para assistir (MTTA - Mean Time To Assist) em situações urgentes e disruptivas	Total de tempos entre a deteção e o início de reparação das incidências urgentes e disruptivas/
		Nº de incidências urgentes e disruptivas
13	Tempo médio de indisponibilidade operacional relacionado com manutenção	Tempo total de indisponibilidade dos ativos para atuação da manutenção (em tempo requerido)/
		Nº de atuações em tempo requerido
14	Tempo médio de indisponibilidade em situações disruptivas	Tempo total de indisponibilidade por incidências disruptivas/
		Nº de incidências disruptivas
15	Taxa de ocorrência de avaria proporcional ao ano	(Nº de avarias no período de análise) x 365/
		Nº de dias do período de análise
16	Índice de qualidade do planeamento	Nº de OTs requerendo retrabalho devido ao planeamento/
		Nº total de OTs
17	Índice de OTs executadas com procedimentos escritos e registados	Nº OTs executadas de acordo com procedimentos de manutenção escritos e registados/
		Nº total de OTs
18	Índice de manutenção corretiva/preventiva	Horas de mão-de-obra das OTs de manutenção corretiva/
		Horas de mão-de-obra das OTs de manutenção preventiva
19	Índice de manutenção preventiva	Horas de mão-de-obra previstas das OTs de manutenção preventiva/
		Total de horas de mão-de-obra disponíveis do pessoal da manutenção
20	Índice de manutenção de equipamentos, integrada por computador	Nº de equipamentos com informação para manutenção integrada por computador/
		Nº total de equipamentos
21	Índice de competências multidisciplinares	Nº de pessoas da manutenção com competências multidisciplinares/
		Nº total de pessoas da manutenção
22	Índice de satisfação do colaborador	Nº de sugestões feitas pelos colaboradores/
		Nº de sugestões implementadas
23	Taxa de reuniões informativas com a gestão de topo e o pessoal da manutenção	Nº de reuniões informativas com a gestão de topo e o pessoal da manutenção/
		Período de análise
24	Tempo médio de duração dos contratos com os fornecedores de manutenção mais importantes	Total de tempos de duração dos contratos com fornecedores de manutenção importantes/
		Nº de contratos com fornecedores de manutenção importantes
25	Índice de flexibilidade na aquisição e/ou contratação de serviços de manutenção	Nº total de contratos de manutenção/
		Nº total de prestadores de serviços de manutenção
26	Rácio de custo da manutenção disruptiva	Custo da manutenção disruptiva/
		Custo total da manutenção

Tabela II.4 – Lista de KPIs propostos para a categoria *Green* (Conjunto de alternativas)

G_m	Descrição dos KPIs	Fórmula de Cálculo
1	Taxa de incidentes ambientais	$\frac{\text{N}^\circ \text{ de incidentes ambientais}}{\text{Período de análise}}$
2	Taxa de acidentes ambientais	$\frac{\text{N}^\circ \text{ de acidentes ambientais}}{\text{Período de análise}}$
3	Taxa de emergências ambientais por cada 1000 unidade de referência	$\frac{\text{N}^\circ \text{ de emergências ambientais causadas pela manutenção}}{\text{(N}^\circ \text{ de unidade de referência (passageiros)/1000)}}$
4	Taxa de avarias com danos ambientais causadas pela manutenção	$\frac{\text{N}^\circ \text{ de avarias devidas à manutenção que causaram danos ambientais}}{\text{Período de análise}}$
5	Índice de avarias com danos ambientais	$\frac{\text{N}^\circ \text{ de avarias que provocaram danos ambientais}}{\text{N}^\circ \text{ total de avarias}}$
6	Índice de risco de danos ambientais	$\frac{\text{N}^\circ \text{ de avarias que poderiam ter provocado danos ambientais}}{\text{N}^\circ \text{ total de avarias}}$
7	Taxa de resíduos da manutenção	$\frac{\text{Total de resíduos relacionados com a manutenção}}{\text{Período de análise}}$
8	Taxa de resíduos sólidos e líquidos recicláveis	$\frac{\text{Total de resíduos sólidos e líquidos recicláveis depositados}}{\text{Período de análise}}$
9	Taxa de resíduos sólidos e líquidos não recicláveis	$\frac{\text{Total de resíduos sólidos e líquidos não recicláveis depositados}}{\text{Período de análise}}$
10	Consumo de água por unidade de referência	$\frac{\text{Consumo de água (m}^3\text{)}}{\text{N}^\circ \text{ de unidade de referência (passageiros)}}$
11	Consumo de energia por unidade de referência	$\frac{\text{Consumo de energia (Kwh)}}{\text{N}^\circ \text{ de unidade de referência (passageiros)}}$
12	Emissões de gases para a atmosfera por unidade de referência	$\frac{\text{Emissões de gases para a atmosfera}}{\text{N}^\circ \text{ de unidades de referência (passageiros)}}$
13	Índice de materiais reciclados ou reutilizados	$\frac{\text{Quantidade de materiais reciclados ou reutilizados}}{\text{Quantidade de materiais utilizados}}$
14	Índice de utilização de produtos ecologicamente aconselhados	$\frac{\text{N}^\circ \text{ de produtos ecologicamente aconselhados}}{\text{Total de produtos utilizados pela manutenção}}$
15	Índice de utilização dos meios de proteção ambiental	$\frac{\text{N}^\circ \text{ de atuações utilizando meios de proteção ambiental}}{\text{N}^\circ \text{ de atuações requerendo meios de proteção ambiental}}$
16	Índice de prevenção de acidentes ambientais	$\frac{\text{N}^\circ \text{ de ações para prevenção de acidentes ambientais}}{\text{(N}^\circ \text{ de incidentes ambientais + N}^\circ \text{ de acidentes ambientais)}}$
17	Rácio económico de reciclagem	$\frac{\text{Receitas de reciclagem}}{\text{Custos de reciclagem}}$
18	Taxa de custo das ações prevenção de impacto ambiental	$\frac{\text{Custo das ações de prevenção de impacto ambiental}}{\text{Período de análise}}$
19	Rácio de custo de formação sobre temas ambientais	$\frac{\text{Custos de formação sobre temas ambientais}}{\text{Custo total da formação na manutenção}}$
20	Taxa de penalidades ambientais	$\frac{\text{Multas, coimas, sanções e penalidades por ações e medidas ambientais}}{\text{Período de análise}}$

ANEXO III

Quantificação dos KPIs (caso de estudo aeroporto)

Tabela III.1 – Quantificação dos KPIs selecionados para a categoria *Lean*

KPIs	Descrição dos KPIs	Fórmula de Cálculo	Quantificação		Cálculo dos KPIs		Escala		Max min
			2012	2013	2012	2013	V.Pior	V.Melhor	
L1	Custo da manutenção por unidade de referência	Custo da manutenção (€)/	1.858.487,04	2.196.383,36	0,3276	0,3672	0,4000	0,3000	min.
		Nº de unidades de referência (passageiros)	5.672.377	5.981.448					
L2	Rácio de custo da manutenção corretiva/total	Custo da manutenção corretiva/	890.485,68	1.257.965,33	0,4791	0,5727	0,7000	0,3000	min.
		Custo total da manutenção	1.858.487,04	2.196.383,36					
L3	Índice de manutenção corretiva/preventiva	Horas de mão-de-obra das OTs de manutenção corretiva/	8.753,65	11.512,83	0,2368	0,3033	0,3500	0,2000	min.
		Horas de mão-de-obra das OTs de manutenção preventiva	36.959,21	37.957,11					
L4	Índice de manutenção de melhoria	Horas de mão-de-obra das OTs de trabalho de melhoria/	1.562,34	1.729,04	0,0330	0,0338	0,0100	0,0500	Max.
		Horas de mão-de-obra das OTs de manutenção executadas/	47.275,20	51.198,98					
L5	Índice de desempenho global da manutenção	Horas de mão-de-obra das OTs de manutenção executadas/	47.275,20	51.198,98	0,7400	0,8014	0,6000	0,9000	Max.
		Total de horas de mão-de-obra disponíveis da manutenção	63.888,00	63.888,00					
L6	Índice de OTs que excederam o tempo especificado ou previsto	Nº total de OTs que excederam o tempo especificado ou previsto/	28	32	0,0031	0,0033	0,0100	0,0000	min.
		Nº total de OTs	9.021	9.671					
L7	Índice de OTs para retrabalho	Nº de OTs atribuídas para retrabalho/	33	27	0,0037	0,0028	0,0300	0,0000	min.
		Nº total de OTs	9.021	9.671					
L8	Nº de avarias por cada 1000 unidades de referência	Nº de avarias no período em análise/	5.713	5.810	1,0072	0,9713	2,0000	0,0000	min.
		(Nº de unidades de referência (passageiros)/1000)	5.672,38	5.981,45					
L9	Tempo médio de indisponibilidade operacional relacionado com manutenção	Tempo total de indisponibilidade dos ativos para atuação da manutenção (em tempo requerido)/	64,61	34,20	0,1765	0,1326	0,5000	0,0000	min.
		Nº de atuações em tempo requerido	366	258					
L10	Índice de reclamações de clientes por causa imputada à manutenção	Nº de reclamações de clientes por causa imputada à manutenção/	12	11	0,0021	0,0018	0,0050	0,0000	min.
		(Nº de passageiros/1000)	5.672,38	5.981,45					

Tabela III.2 – Quantificação dos KPIs selecionados para a categoria *Agile*

KPIs	Descrição dos KPIs	Fórmula de Cálculo	Quantificação		Cálculo dos KPIs		Escala		Max
			2012	2013	2012	2013	V.Pior	V.Melhor	min
A1	Índice de execução das Ots de manutenção preventiva dentro do tempo especificado	Nº de OTs de manutenção preventiva executadas dentro do tempo especificado/	3211	3723	0,9892	0,9797	0,0000	1,0000	Max.
		Nº Total de OTs de manutenção preventiva	3246	3800					
A2	Índice de qualidade da programação	(Nº de OTs com atraso de execução devido a falta de material ou mão-de-obra)/	12	5	0,0037	0,0013	0,0200	0,0000	min.
		Nº Total de OTs de manutenção preventiva	3246	3800					
A3	Índice de execução de OTs de manutenção preventiva	Nº de OTs de manutenção preventiva executadas/	3246	3800	1,0000	1,0000	0,0000	1,0000	Max.
		Nº total de Ots de manutenção preventiva previstas	3246	3800					
A4	Índice de recalendarização de OTs de manutenção preventiva	Nº de OTs de manutenção preventiva recalendarizadas por razões imputáveis aos serviços da manutenção/	41	57	0,0126	0,0150	0,1000	0,0000	min.
		Nº Total de OTs de manutenção preventiva previstas	3246	3800					
A5	Tempo medio de encaminhamento de incidências	Total de tempos de encaminhamento de incidências/	638,20	705,04	0,1117	0,1213	0,3333	0,0833	min.
		Nº de incidências	5713	5810					
A6	Tempo médio para diagnóstico	Total de tempos para diagnóstico das incidências/	165,89	212,19	0,0290	0,0365	0,5000	0,0000	min.
		Nº de incidências	5713	5810					
A7	Tempo médio operacional para reparar (MTTR – Mean Time To Repair)	Tempo total de reparações/	3.317,88	4.243,80	0,5808	0,7304	1,0000	0,0000	min.
		Nº total de avarias	5713	5810					
A8	Índice de competências multidisciplinares	Nº de pessoas da manutenção com competências multidisciplinares/	15	15	0,4545	0,4545	0,3500	0,6500	Max.
		Nº total de pessoas da manutenção	33	33					

Tabela III.3 – Quantificação dos KPIs selecionados para a categoria *Resilient*

KPIs	Descrição dos KPIs	Fórmula de Cálculo	Quantificação		Cálculo dos KPIs		Escala		Max. min.
			2012	2013	2012	2013	V.Pior	V.Melhor	
R1	Índice de acidentes de trabalho no setor da manutenção por cada 1000 unidades de referência	Nº de acidentes de trabalho na manutenção/	0	1	0,0000	0,0002	0,0010	0,0000	min.
		(Nº de unidades de referência (passageiros)/1000)	5.672,38	5.981,45					
R2	Índice de avarias com acidentes pessoais	Nº de avarias que provocaram acidentes pessoais/	3	4	0,0005	0,0007	0,0010	0,0000	min.
		Nº total de avarias	5713	5810					
R3	Média de horas de mão-de-obra em manutenção corretiva de urgência	Total de horas de mão-de-obra das OTs de manutenção corretiva de urgência/	1.999,52	2.432,60	5,46	9,36	18,0000	0,0000	min.
		Nº OTs de manutenção corretiva de urgência	366	260					
R4	Tempo médio sem serviço esperando materiais ou mão-de-obra em manutenção corretiva de urgência	Total de tempos sem serviço esperando materiais ou mão-de-obra nas OTs de manutenção corretiva de urgência/	128,55	502,09	0,3512	1,9311	4,0000	0,0000	min.
		Nº OTs de manutenção corretiva de urgência	366	260					
R5	Índice manutenção corretiva de urgência	Horas de mão-de-obra das OTs de manutenção corretiva de urgência/	1.999,52	2.432,60	0,2284	0,2113	1,0000	0,0000	min.
		Horas de mão-de-obra das OTs de manutenção corretiva/	8.753,65	11.512,83					
R6	Tempo médio para assistir (MTTA - Mean Time To Assist) em situações urgentes e disruptivas	Total de tempos entre a detecção e o início de reparação das incidências urgentes e disruptivas/	24,80	21,33	0,0678	0,0820	0,2500	0,0000	min.
		Nº de incidências urgentes e disruptivas	366	260					
R7	Tempo médio de indisponibilidade em situações disruptivas	Tempo total de indisponibilidade por incidências disruptivas/	4,17	0,56	0,0642	0,0119	0,5000	0,0000	min.
		Nº de incidências disruptivas	65	47					
R8	Índice de manutenção de equipamentos, integrada por computador	Nº de equipamentos com informação para manutenção integrada por computador/	5280	5580	0,9296	0,9637	0,0000	1,0000	Max.
		Nº total de equipamentos	5680	5790					
R9	Índice de flexibilidade na aquisição e/ou contratação de serviços de manutenção	Nº total de contratos de manutenção/	22	27	0,3607	0,2231	0,7500	0,1000	min.
		Nº total de prestadores de serviços de manutenção	61	121					

Tabela III.4 – Quantificação dos KPIs selecionados para a categoria *Green*

KPIs	Descrição dos KPIs	Fórmula de Cálculo	Quantificação		Cálculo dos KPIs		Escala		Max
			2012	2013	2012	2013	V.Pior	V.Melhor	min
G1	Taxa de incidentes ambientais	Nº de incidentes ambientais/ Período de análise (ano=12meses)	8	11	0,6667	0,9167	1,0000	0,0000	min.
			12	12					
G2	Taxa de acidentes ambientais	Nº de acidentes ambientais/ Período de análise (ano=12meses)	4	5	0,3333	0,4167	1,0000	0,0000	min.
			12	12					
G3	Taxa de emergências ambientais por cada 1000 unidade de referência	Nº de emergências ambientais causadas pela manutenção/ (Nº de unidade de referência (passageiros)/1000)	5	3	0,0009	0,0005	0,0010	0,0000	min.
			5.672,38	5.981,45					
G4	Taxa de avarias com danos ambientais causadas pela manutenção	Nº de avarias devidas à manutenção que causaram danos ambientais/ Período de análise (ano=12meses)	2	1	0,1667	0,0833	1,0000	0,0000	min.
			12	12					
G5	Índice de avarias com danos ambientais	Nº de avarias que provocaram danos ambientais/ Nº total de avarias	2	3	0,0004	0,0005	0,0010	0,0000	min.
			5.713	5.810					
G6	Índice de risco de danos ambientais	Nº de avarias que poderiam ter provocado danos ambientais/ Nº total de avarias	83	119	0,0145	0,0205	0,1000	0,0000	min.
			5.713	5.810					
G7	Taxa de resíduos da manutenção	Total de resíduos relacionados com a manutenção (kg)/ Período de análise (ano=12meses)	873	920	72,75	76,67	100,0000	50,0000	min.
			12	12					
G8	Consumo de energia por unidade de referência	Consumo de energia (Kwh)/ Nº de unidade de referência (nº Passageiros)	15.228.439	15.441.719	2,6847	2,5816	3,5000	2,5000	min.
			5.672.377	5.981.448					
G9	Índice de utilização dos meios de proteção ambiental	Nº de atuações utilizando meios de proteção ambiental/ Nº de atuações requerendo meios de proteção ambiental	16	14	0,5161	0,7368	0,0000	1,0000	Max.
			31	19					
G10	Índice de prevenção de acidentes ambientais	Nº de ações para prevenção de acidentes ambientais/ (Nº de incidentes ambientais + Nº de acidentes ambientais)	4	3	0,3333	0,1875	0,0000	1,0000	Max.
			12	16					

ANEXO IV

Código VBA – Métodos MCDA

Neste anexo é fornecido o código dos programas desenvolvidos com os procedimentos e formulação matemática dos métodos MCDA utilizados nesta investigação. Para permitir o cálculo computacional dos métodos MCDA foram desenvolvidas aplicações informáticas, programadas através do conhecido *software* “Microsoft Office Excel”, por meio da linguagem VBA (*Visual Basic for Applications*).

O *software* desenvolvido contém a implementação dos seguintes algoritmos:

- Método ELECTRE I (*ELimination Et Choix Traduisant la REalité*) e cálculo dos valores de concordância e discordância líquidos (*net concordance and net discordance values*). Para esta aplicação foi também desenvolvida uma rotina para a construção do gráfico de decisão, que estabelece as relações de prevalência entre o conjunto de alternativas e permite a identificação do “*Kernel*”, ou seja, a melhor alternativa ou conjunto reduzido das melhores alternativas;
- Cálculo do vetor de prioridades (*eigenvector prioritization method*) do método AHP (*Analytic Hierarchy Process*). A ferramenta proporciona também o cálculo do rácio de consistência da matriz de julgamentos, como forma de verificar se os resultados são fiáveis ou, se pelo contrário, existem possíveis distúrbios nos julgamentos.

Os procedimentos e formulação matemática dos métodos são explicados no Capítulo 5 (Modelos de Apoio Multicritério à Decisão).

O *software* desenvolvido permite que qualquer utilizador (decisor), mesmo que não familiarizado com os procedimentos matemáticos dos métodos obtenha resultados para a resolução dos problemas de decisão. Os dados requeridos por cada método são introduzidos através de folhas de cálculo “Excel” e pela resposta a questões colocadas ao utilizador.

Nas páginas seguintes é fornecido o código desenvolvido e algumas figuras das folhas de dados e resultados de exemplos demonstrativos para cada aplicabilidade do *software*.

IV.1. Código – Método ELECTRE I

```

Sub ELECTRE_I()

'-----
'Declaração de variáveis
Dim i, j, k, X, Y, z, m, n, R As Integer
Dim W, SomaW As Double
Dim q, somaQ As Double
Dim somaC, somaD As Double
Dim CIndex, DIndex As Double
Dim somaCIndex, somaDIndex As Double
Dim ValorIC, ValorID As Double
Dim Matriz() As Double
Dim RsomaQ() As Double
Dim MatrizR() As Double
Dim MatrizV() As Double
Dim MatrizC(), MatrizD() As Double
Dim MaxMin() As String
Dim MatrizE(), MatrizF() As Integer
Dim C(), d() As Double
Dim somaClinha, somaCcoluna, somaDlinha, somaDcoluna As Double
Dim ordemC, ordemD As Integer
Dim difV() As Double
Dim maxnum, maxden As Double
Dim MAgregada() As Double
Dim somaMultipl As Double

'-----
'Dimensão da matriz de decisão
m = InputBox("Qual o número de Alternativas?", "Linhas da matriz", 0)
n = InputBox("Qual o número de Critérios?", "Colunas da matriz", 0)

'-----
'Lê linha dos pesos W dos critérios na folha ElectreI-Dados
ReDim W(n)
SomaW = 0
For j = 1 To n
    W(j) = Worksheets("ElectreI-Dados").Cells(1, j)
    SomaW = SomaW + W(j)
Next
MsgBox ("Soma dos pesos (W)= ") & SomaW

'-----
'Lê linha max-min na folha ElectreI-Dados
ReDim MaxMin(n)
For j = 1 To n
    MaxMin(j) = Worksheets("ElectreI-Dados").Cells(2, j)
Next

'-----
'Lê a matriz de decisão na folha ElectreI-Dados
ReDim Matriz(m, n)
For i = 1 To m
    For j = 1 To n
        Matriz(i, j) = Worksheets("ElectreI-Dados").Cells(i + 2, j)
    Next
Next

'-----
'Normalização da matriz de decisão
'Calcula a raiz quadrada da soma dos quadrados dos elementos das colunas da matriz de
decisão
'A formula é diferente, conforme o critério é "max" ou "min"
ReDim RsomaQ(n)
For j = 1 To n
    somaQ = 0
    If MaxMin(j) = "max" Then
        For i = 1 To m
            q = 0
            q = Matriz(i, j) ^ 2
            somaQ = somaQ + q
        Next
    ElseIf MaxMin(j) = "min" Then
        For i = 1 To m

```

```

        q = 0
        q = 1 / (Matriz(i, j) ^ 2)
        somaQ = somaQ + q
    Next
End If
RsomaQ(j) = Sqr(somaQ)
Next

'Calcula a matriz R, ou seja, a matriz de decisão normalizada
ReDim MatrizR(m, n)
For i = 1 To m
    For j = 1 To n
        If MaxMin(j) = "max" Then
            MatrizR(i, j) = Matriz(i, j) / RsomaQ(j)
        ElseIf MaxMin(j) = "min" Then
            MatrizR(i, j) = (1 / Matriz(i, j)) / RsomaQ(j)
        End If
    Next
Next

'-----
'Calcula a matriz V, ou seja, multiplica cada linha da matriz R pelos respectivos pesos W
ReDim MatrizV(m, n)
For i = 1 To m
    For j = 1 To n
        MatrizV(i, j) = MatrizR(i, j) * W(j)
    Next
Next

'-----
'Calcula a matriz C
'Comparação das alternativas em cada critério, somando os pesos das "melhores" alternativas
para cada critério
'Ou seja, as relações de concordância
ReDim MatrizC(m, m)
For X = 1 To m
    For Y = 1 To m
        If X = Y Then
            MatrizC(X, Y) = 0
        Else
            somaC = 0
            For j = 1 To n
                If MatrizV(X, j) >= MatrizV(Y, j) Then
                    somaC = somaC + W(j)
                Else
                    somaC = somaC
                End If
            Next
            MatrizC(X, Y) = somaC
        End If
    Next
Next

'-----
'Calcula o índice de concordância CIndex
'Este índice é a média dos valores da matriz C de concordância
somaCIndex = 0
For X = 1 To m
    For Y = 1 To m
        somaCIndex = somaCIndex + MatrizC(X, Y)
    Next
Next
CIndex = somaCIndex / (m * (m - 1))
ValorIC = CDbl(InputBox("IC= ", "Índice de Concordância", CIndex))

'-----
'Calcula a matriz de índice de concordância E
ReDim MatrizE(m, m)
For X = 1 To m
    For Y = 1 To m
        If MatrizC(X, Y) >= ValorIC Then
            MatrizE(X, Y) = 1
        Else
            MatrizE(X, Y) = 0
        End If
    Next
Next
Next

```

```

'Escreve a matriz E com a diagonal (-) a vermelho na folha ElectreI-Concord
For X = 1 To m
  For Y = 1 To m
    Worksheets("ElectreI-Concord").Cells(X, Y) = MatrizE(X, Y)
    Worksheets("ElectreI-Concord").Cells(X, Y).HorizontalAlignment = xlCenter
    If X = Y Then
      Worksheets("ElectreI-Concord").Cells(X, Y) = "-"
      Worksheets("ElectreI-Concord").Cells(X, Y).Font.FontStyle = "Negrito"
      Worksheets("ElectreI-Concord").Cells(X, Y).Font.Color = 255
    End If
  Next
Next

'-----
'Calcula os valores líquidos de concordância para cada alternativa
ReDim C(m)
For X = 1 To m
  somaClinha = 0
  somaCcoluna = 0
  For Y = 1 To m
    somaClinha = somaClinha + MatrizC(X, Y)
    somaCcoluna = somaCcoluna + MatrizC(Y, X)
  Next
  C(X) = somaClinha - somaCcoluna
Next

'Escreve vetor c na folha ElectreI-Concord, ou seja, os valores líquidos de concordância
para cada alternativa
For X = 1 To m
  Worksheets("ElectreI-Concord").Cells(X, m + 1) = "c" & X & "="
  Worksheets("ElectreI-Concord").Cells(X, m + 2) = C(X)
Next

'Escreve a ordem hierárquica de cada valor do vetor c na folha ElectreI-Concord
For X = 1 To m
  ordemC = m
  For Y = 1 To m
    If C(X) > C(Y) Then
      ordemC = ordemC - 1
    End If
  Next
  Worksheets("ElectreI-Concord").Cells(X, m + 3) = "Rank" & X & "="
  Worksheets("ElectreI-Concord").Cells(X, m + 4) = ordemC
Next

'-----
'Calcula a matriz D
'Comparação das alternativas em cada critério, somando os pesos das "piores" alternativas
para cada critério
'Ou seja, as relações de discordância
ReDim MatrizD(m, m)
ReDim difV(n)
For X = 1 To m
  For Y = 1 To m
    If X = Y Then
      MatrizD(X, Y) = 0
    Else
      maxden = 0
      For k = 1 To n
        difV(k) = Abs(MatrizV(X, k) - MatrizV(Y, k))
        If maxden < difV(k) Then
          maxden = difV(k)
        End If
      Next
      maxnum = 0
      For j = 1 To n
        If MatrizV(X, j) < MatrizV(Y, j) Then
          If maxnum < difV(j) Then
            maxnum = difV(j)
          End If
        End If
      Next
      If maxnum = 0 And maxden = 0 Then
        MatrizD(X, Y) = 0
      Else
        MatrizD(X, Y) = maxnum / maxden
      End If
    End If
  Next
End If

```

```

        End If
    Next
Next
Next
'-----
'Calcula o índice de discordância DIndex
'Este índice é a média dos valores da matriz D de discordância
somaDIndex = 0
For X = 1 To m
    For Y = 1 To m
        somaDIndex = somaDIndex + MatrizD(X, Y)
    Next
Next
DIndex = somaDIndex / (m * (m - 1))
ValorID = CDBl(InputBox("ID= ", "Índice de Discordância", DIndex))
'-----
'Calcula a matriz de índice de discordância F
ReDim MatrizF(m, m)
For X = 1 To m
    For Y = 1 To m
        If MatrizD(X, Y) <= ValorID Then
            MatrizF(X, Y) = 1
        Else
            MatrizF(X, Y) = 0
        End If
    Next
Next
Next
'Escreve a matriz F com a diagonal (-) a vermelho na folha ElectreI-Discord
For X = 1 To m
    For Y = 1 To m
        Worksheets("ElectreI-Discord").Cells(X, Y) = MatrizF(X, Y)
        Worksheets("ElectreI-Discord").Cells(X, Y).HorizontalAlignment = xlCenter
        If X = Y Then
            Worksheets("ElectreI-Discord").Cells(X, Y) = "-"
            Worksheets("ElectreI-Discord").Cells(X, Y).Font.FontStyle = "Negrito"
            Worksheets("ElectreI-Discord").Cells(X, Y).Font.Color = 255
        End If
    Next
Next
Next
'-----
'Calcula os valores líquidos de discordância para cada alternativa
ReDim d(m)
For X = 1 To m
    somaDlinha = 0
    somaDcoluna = 0
    For Y = 1 To m
        somaDlinha = somaDlinha + MatrizD(X, Y)
        somaDcoluna = somaDcoluna + MatrizD(Y, X)
    Next
    d(X) = somaDlinha - somaDcoluna
Next
Next
'Escreve vetor d na folha ElectreI-Discord, ou seja, os valores líquidos de discordância
para cada alternativa
For X = 1 To m
    Worksheets("ElectreI-Discord").Cells(X, m + 1) = "d" & X & "="
    Worksheets("ElectreI-Discord").Cells(X, m + 2) = d(X)
Next
Next
'Escreve a ordem hierárquica de cada valor do vetor c na folha ElectreI-Discord
For X = 1 To m
    ordemD = m
    For Y = 1 To m
        If d(X) < d(Y) Then
            ordemD = ordemD - 1
        End If
    Next
    Worksheets("ElectreI-Discord").Cells(X, m + 3) = "Rank" & X & "="
    Worksheets("ElectreI-Discord").Cells(X, m + 4) = ordemD
Next
Next

```

```

'-----
'Escreve conjunto de resultados na folha ElectreI-Result para análise
'Escreve no início o título de cada coluna
For Y = 1 To 7
    Worksheets("ElectreI-Result").Cells(1, Y).HorizontalAlignment = xlCenter
    Worksheets("ElectreI-Result").Cells(1, Y).Font.FontStyle = "Negrito"
Next
Worksheets("ElectreI-Result").Cells(1, 1) = "N"
Worksheets("ElectreI-Result").Cells(1, 2) = "Valor C"
Worksheets("ElectreI-Result").Cells(1, 3) = "Valor D"
Worksheets("ElectreI-Result").Cells(1, 4) = "Rank C"
Worksheets("ElectreI-Result").Cells(1, 5) = "Rank D"
Worksheets("ElectreI-Result").Cells(1, 6) = "ERRO"
Worksheets("ElectreI-Result").Cells(1, 7) = "Índices"

'Escreve o número para cada alternativa (N)
For X = 1 To m
    Worksheets("ElectreI-Result").Cells(X + 1, 1).HorizontalAlignment = xlCenter
    Worksheets("ElectreI-Result").Cells(X + 1, 1).Font.FontStyle = "Negrito"
    Worksheets("ElectreI-Result").Cells(X + 1, 1) = X
Next

'Escreve os valores líquidos de concordância para cada alternativa (vetor c)
For X = 1 To m
    Worksheets("ElectreI-Result").Cells(X + 1, 2) = C(X)
Next

'Escreve os valores líquidos de discordância para cada alternativa (vetor d)
For X = 1 To m
    Worksheets("ElectreI-Result").Cells(X + 1, 3) = d(X)
Next

'Escreve a ordem hierárquica de cada valor dos vetores c e d
For X = 1 To m
    ordemC = m
    ordemD = m
    For Y = 1 To m
        If d(X) < d(Y) Then
            ordemD = ordemD - 1
        End If
        If C(X) > C(Y) Then
            ordemC = ordemC - 1
        End If
    'Quando a ordenação não está correta poder-se-á verificar a igualdade de resultados com as
    3 linhas seguintes
        If X <> Y Then
            If C(X) = C(Y) Or d(X) = d(Y) Then
                Worksheets("ElectreI-Result").Cells(X + 1, 6) = X & "=" & Y
            End If
        End If
    Next
    Worksheets("ElectreI-Result").Cells(X + 1, 4) = ordemC
    Worksheets("ElectreI-Result").Cells(X + 1, 5) = ordemD
Next

'Escreve os valores dos índices de concordância e de discordância calculados/utilizados
Worksheets("ElectreI-Result").Cells(3, 7).Font.FontStyle = "Negrito"
Worksheets("ElectreI-Result").Cells(3, 7) = "Índices médios calculados:"
Worksheets("ElectreI-Result").Cells(4, 7) = "IC = " & CIndex
Worksheets("ElectreI-Result").Cells(5, 7) = "ID = " & DIndex
Worksheets("ElectreI-Result").Cells(7, 7).Font.FontStyle = "Negrito"
Worksheets("ElectreI-Result").Cells(7, 7) = "Índices atribuídos:"
Worksheets("ElectreI-Result").Cells(8, 7) = "IC = " & ValorIC
Worksheets("ElectreI-Result").Cells(9, 7) = "ID = " & ValorID

'-----
'Calcula a matriz MAgregada (Z), ou seja, a agregação da matriz E (concordância) com a
matriz F (discordância)
'Escreve a matriz MAgregada com a diagonal (-) a vermelho na folha MAgregada
ReDim MAgregada(m, m)
For X = 1 To m
    For Y = 1 To m
        If MatrizE(X, Y) = 1 And MatrizF(X, Y) = 1 Then
            MAgregada(X, Y) = 1
            Worksheets("MAgregada").Cells(X, Y + 1) = MAgregada(X, Y)
            Worksheets("MAgregada").Cells(X, Y + 1).HorizontalAlignment = xlCenter
        ElseIf MatrizE(X, Y) = 0 Or MatrizF(X, Y) = 0 Then

```

```

    MAgregada(X, Y) = 0
    Worksheets("MAgregada").Cells(X, Y + 1) = MAgregada(X, Y)
    Worksheets("MAgregada").Cells(X, Y + 1).HorizontalAlignment = xlCenter
End If
If X = Y Then
    Worksheets("MAgregada").Cells(X, Y + 1) = "-"
    Worksheets("MAgregada").Cells(X, Y + 1).Font.FontStyle = "Negrito"
    Worksheets("MAgregada").Cells(X, Y + 1).HorizontalAlignment = xlCenter
    Worksheets("MAgregada").Cells(X, Y + 1).Font.Color = 255
End If
Next
Next

'Calcula a soma das linhas da matriz MAgregada, ou seja, o número de "1" em cada linha
'Escreve a vermelho esse valor na primeira coluna da folha MAgregada
For X = 1 To m
    somal = 0
    For Y = 1 To m
        If MAgregada(X, Y) = 1 Then
            somal = somal + MAgregada(X, Y)
        End If
    Next
    Worksheets("MAgregada").Cells(X, 1) = somal
    Worksheets("MAgregada").Cells(X, 1).Font.FontStyle = "Negrito"
    Worksheets("MAgregada").Cells(X, 1).Font.Color = 255
Next

'-----
'Informa que o cálculo terminou e os resultados se apresentam na folha ElectreI-Result
MsgBox "Os resultados da análise Electre I encontram-se na folha ElectreI-Result...",
vbInformation, "Fim do cálculo..."

End Sub

```

	A	B	C	D	E	F	G
1	0,2335	0,1561	0,2507	0,1169	0,1067	0,1361	
2	max	max	min	min	max	min	
3	1365	2017	9,1	3,81	91,7	0,071	
4	1687	1722	11,5	2,76	96,4	0,049	
5	1533	2106	6,5	5,72	86,6	0,092	
6	1347	1918	10,3	4,01	93,7	0,064	
7							
8							

Figura IV.1 – Folha Excel “Electrel-Dados”

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	N	Valor C	Valor D	Rank C	Rank D	ERRO	Índices		
2	1	0,0474	0,1760	3	3				
3	2	0,5592	-0,2443	1	2		Índices médios calculados:		
4	3	0,3748	-1,7027	2	1		IC = 0,5		
5	4	-0,9814	1,7710	4	4		ID = 0,758462414080757		
6									
7							Índices atribuídos:		
8							IC = 0,5		
9							ID = 0,758462414080757		
10									
11									

Figura IV.2 – Folha Excel “Electrel-Result”

IV.1.1. Código – Gráfico de decisão “Kernel”

```

Sub Grafico_Kernel()

'-----
'Declaração de variáveis
Dim m, i, j As Integer
Dim MAgregada() As Double
Dim R, P, A, Angl, C As Double
Dim CentroX, CentroY As Double
Dim X(), Y() As Double

'-----
'Declaração de constantes
Const PI As Double = 3.14159265358979
Const d As Double = 30 'Diâmetro dos círculos das alternativas

'-----
'Declaração de formas
Dim Bolas, Setas As Shape

'-----
'Dimensão da matriz agregada
m = InputBox("Qual o número de Alternativas?", "Matriz Agregada", 0)

'-----
'Lê a matriz agregada na folha MAgregada
ReDim MAgregada(m, m)
For i = 1 To m
    For j = 1 To m
        If i = j Then
            MAgregada(i, j) = 0
        Else
            MAgregada(i, j) = Worksheets("MAgregada").Cells(i, j + 1)
        End If
    Next
Next

'-----
'Realiza os cálculos geométricos do campo (dimensão do gráfico)
'Raio
R = (m * d) / PI

'Perímetro do campo
P = 2 * PI * R

'Arco de cada divisão do círculo do campo
A = P / m

'Angulo de cada divisão do círculo do campo, ou seja, entre duas alternativas
Angl = (A * 180) / (PI * R)

' Corda de cada divisão, ou seja, entre alternativas
C = 2 * R * Sin((Angl / 2) * PI / 180)

'-----
'Centro do campo (gráfico)
CentroX = InputBox("Coordenada X:", "Centro do Gráfico", 0)
CentroY = InputBox("Coordenada y:", "Centro do Gráfico", 0)

'-----
' Cria uma nova folha com o nome "Grafico"
Dim ws As Worksheet
Set ws = Sheets.Add
ws.Name = "Grafico"

'-----
'Calcula as coordenadas dos círculos das alternativas
ReDim X(m)
ReDim Y(m)
For i = 1 To m
    X(i) = CentroX + (R * Sin((Angl * (i - 1)) * PI / 180))
    Y(i) = CentroY - (R * Cos((Angl * (i - 1)) * PI / 180))
Next

```

```

'-----
'Desenha os círculos correspondentes às alternativas, na folha "Grafico"
For i = 1 To m
  Set Bolas = ActiveSheet.Shapes.AddShape(msoShapeOval, X(i), Y(i), d, d)
  With Bolas

    'Texto Blue
    .TextFrame2.TextRange.Characters.Text = i
    .TextFrame2.TextRange.Characters.Font.Fill.ForeColor.RGB = RGB(0, 0, 255)
    .Fill.ForeColor.ObjectThemeColor = msoThemeColorAccent1

    'Preenchimento Yellow
    .Fill.ForeColor.RGB = RGB(255, 255, 0)

    'Linha Red
    .Line.ForeColor.RGB = RGB(255, 0, 0)
    .Line.Weight = 1.5

  End With
Next

'-----
'Desenha as setas que representam as relações de dominância entre as alternativas.
'Desenha setas da alternativa Ap para a alternativa Aq se e só se Ap domina Aq.
For i = 1 To m
  For j = 1 To m
    If i <> j And MAgregada(i, j) = 1 Then

      'Deste modo as setas ligam aos vertices dos círculos
      'Set Setas = ActiveSheet.Shapes.AddLine(X(i), Y(i), X(j), Y(j))

      'Deste modo as setas ligam aos centros dos círculos
      Set Setas = ActiveSheet.Shapes.AddLine((X(i) + (d / 2)), (Y(i) + (d / 2)),
(X(j) + (d / 2)), (Y(j) + (d / 2)))

      'Formata as setas
      With Setas
        .Name = "ArrowSegment" & CStr(Ipts)
      With .Line
        .ForeColor.SchemeColor = 12 ' blue
        .EndArrowheadLength = msoArrowheadLong
        .EndArrowheadWidth = msoArrowheadWidthMedium
        .EndArrowheadStyle = msoArrowheadTriangle
      End With
      End With
    End If
  Next
Next
End Sub

```

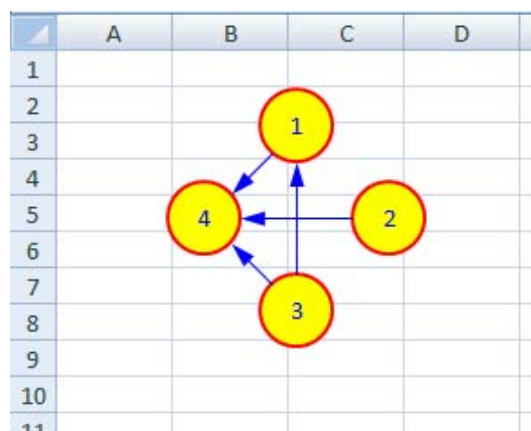


Figura IV.3 – Folha Excel “Grafico”, identificação do “Kernel” (alternativa 3)

IV.2. Código – Método AHP

```

Sub AHP()

'-----
'Declaração de variáveis
Dim Matriz, Eigenvector, SomaEigenvector, W, SomaW, somaK, AW, Y, somaY, Ymax, P As Integer
Dim CI, NumRI As Integer
Dim i, j, k, n As Integer
Dim soma, produto, mult As Integer
Dim RI, CR As Double

'-----
'Dimensão da matriz
n = InputBox("Qual a dimensão da matriz?", "Dimensão da matriz", 0)
ReDim Matriz(n, n)

'-----
'Lê a matriz na folha AHP-Dados
For i = 1 To n
    For j = 1 To n
        Matriz(i, j) = Worksheets("AHP-Dados").Cells(i, j)
        If i = j Then
            soma = soma + Matriz(i, j)
        End If
    Next
Next

'Informa a soma da diagonal que tem de ser igual à dimensão da matriz (n)
' Caso não seja, o utilizador sabe que a matriz está errada
MsgBox ("Soma diagonal principal = ") & soma

'-----
'Calcula a média geométrica das linhas (constroi o eigenvector)
ReDim Eigenvector(n)
For i = 1 To n
    produto = 1
    For j = 1 To n
        produto = produto * Matriz(i, j)
    Next
    Eigenvector(i) = produto ^ (1 / n)
    SomaEigenvector = SomaEigenvector + Eigenvector(i)
Next

'Informa a soma do vetor Eigenvector
MsgBox ("Soma Eigenvector = ") & SomaEigenvector

'-----
'Normalização do vetor eigenvector (ou seja, calcula os pesos)
ReDim W(n)
For i = 1 To n
    W(i) = Eigenvector(i) / SomaEigenvector
    SomaW = SomaW + W(i)
Next

'-----
'Calcula AW
ReDim AW(n)
For i = 1 To n
    somaK = 0
    For j = 1 To n
        somaK = somaK + Matriz(i, j) * W(j)
    AW(i) = somaK
    Next
Next

'-----
'Calcula Y para os n elementos
ReDim Y(n)
For i = 1 To n
    Y(i) = AW(i) / W(i)
    somaY = somaY + Y(i)
Next

```

```

'-----
'Calcula Ymax e informa
Ymax = somaY / n
MsgBox (" Ymax = ") & Ymax

'-----
'Calcula CI
CI = (Ymax - n) / (n - 1)

'-----
'Seleciona RI e informa
NumRI = n
Select Case NumRI
Case 1, 2
    RI = 0
Case 3
    RI = 0.52
Case 4
    RI = 0.89
Case 5
    RI = 1.11
Case 6
    RI = 1.25
Case 7
    RI = 1.35
Case 8
    RI = 1.4
Case 9
    RI = 1.45
Case 10
    RI = 1.49
Case 11
    RI = 1.52
Case 12
    RI = 1.54
Case 13
    RI = 1.56
Case 14
    RI = 1.58
Case 15
    RI = 1.59
Case Is >= 16
    RI = 1.6
    MsgBox "Para um número superior a 15 comparações, o cálculo pode não ser rigoroso!!!",
vbCritical, "Atenção" & n
End Select

'-----
'Calcula CR
CR = CI / RI

'-----
'Escreve resultados na folha AHP-Result
For i = 1 To n
    Worksheets("AHP-Result").Cells(i, 1).HorizontalAlignment = xlCenter
    Worksheets("AHP-Result").Cells(i, 1).Font.FontStyle = "Negrito"
    Worksheets("AHP-Result").Cells(i, 1) = "W" & i & "="
    Worksheets("AHP-Result").Cells(i, 2) = W(i)
Next

Worksheets("AHP-Result").Cells(1, 4).HorizontalAlignment = xlCenter
Worksheets("AHP-Result").Cells(1, 4).Font.FontStyle = "Negrito"
Worksheets("AHP-Result").Cells(1, 4) = "n="
Worksheets("AHP-Result").Cells(1, 5) = n

Worksheets("AHP-Result").Cells(2, 4).HorizontalAlignment = xlCenter
Worksheets("AHP-Result").Cells(2, 4).Font.FontStyle = "Negrito"
Worksheets("AHP-Result").Cells(2, 4) = "Ymax="
Worksheets("AHP-Result").Cells(2, 5) = Ymax

Worksheets("AHP-Result").Cells(3, 4).HorizontalAlignment = xlCenter
Worksheets("AHP-Result").Cells(3, 4).Font.FontStyle = "Negrito"
Worksheets("AHP-Result").Cells(3, 4) = "CI="
Worksheets("AHP-Result").Cells(3, 5) = CI

Worksheets("AHP-Result").Cells(4, 4).HorizontalAlignment = xlCenter
Worksheets("AHP-Result").Cells(4, 4).Font.FontStyle = "Negrito"

```

```

Worksheets("AHP-Result").Cells(4, 4) = "RI="
Worksheets("AHP-Result").Cells(4, 5) = RI

Worksheets("AHP-Result").Cells(5, 4).HorizontalAlignment = xlCenter
Worksheets("AHP-Result").Cells(5, 4).Font.FontStyle = "Negrito"
Worksheets("AHP-Result").Cells(5, 4) = "CR="
Worksheets("AHP-Result").Cells(5, 5) = CR

'-----
'Informa que o cálculo terminou e que os resultados se apresentam na folha AHP-Result
MsgBox "Os resultados da análise AHP encontram-se na folha AHP-Result...", vbInformation,
"Fim do calculo..."

End Sub

```

	A	B	C	D	E
1	1	0,5	0,333333	3	
2	2	1	1	2	
3	3	1	1	2	
4	0,333333	0,5	0,5	1	
5					
6					
7					

Figura IV.4 – Folha Excel “AHP-Dados”

	A	B	C	D	E	F
1	W1=	0,192978		n=	4	
2	W2=	0,324549		Ymax=	4,232536	
3	W3=	0,359172		CI=	0,077512	
4	W4=	0,123302		RI=	0,89	
5				CR=	0,086124	
6						
7						

Figura IV.4 – Folha Excel “AHP-Result”

