



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

**LUCAS QUEIROZ MELO DA COSTA**

**ESTUDO E AVALIAÇÃO DA EFETIVIDADE DE POLÍTICAS DE MANUTENÇÃO**

Recife

2021

**LUCAS QUEIROZ MELO DA COSTA**

**ESTUDO E AVALIAÇÃO DA EFETIVIDADE DE POLÍTICAS DE MANUTENÇÃO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Área de Concentração: Pesquisa Operacional.

Orientador: Prof. Dr. Cristiano Alexandre Virgínio Cavalcante.

Recife

2021

Catálogo na fonte  
Bibliotecária Margareth Malta, CRB-4 / 1198

C837e Costa, Lucas Queiroz Melo da.  
Estudo e avaliação da efetividade de políticas de manutenção / Lucas  
Queiroz Melo da Costa - 2021.  
166 folhas, il., gráfs., tabs.

Orientador: Prof. Dr. Cristiano Alexandre Virgínio Cavalcante.  
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG.  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, 2021.  
Inclui Referências e Apêndices.

1. Engenharia de Produção. 2. Efetividade. 3. Políticas de  
manutenção. 4. Apoio multicritério à decisão. I. Cavalcante, Cristiano  
Alexandre Virgínio (Orientador). II. Título.

UFPE

658.5 CDD (22. ed.)

BCTG/2021-76

**LUCAS QUEIROZ MELO DA COSTA**

**ESTUDO E AVALIAÇÃO DA EFETIVIDADE DE POLÍTICAS DE MANUTENÇÃO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção. Área de Concentração: Pesquisa Operacional.

Aprovada em: 22/02/2021.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Cristiano Alexandre Virgínio Cavalcante (Orientador)

Universidade Federal de Pernambuco

---

Profa. Dra. Ana Paula Cabral Seixas Costa (Examinadora Interna)

Universidade Federal de Pernambuco

---

Prof. Dr. João Roberto Ferreira (Examinador Externo)

Universidade Federal de Itajubá

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente ao único Deus, por me conceder oportunidades, direcionamento, sabedoria, sustento, proteção e correção durante todas as etapas da minha vida.

À minha família, em especial aos meus pais Stalin Costa e Vera Grácia Queiroz, pela educação, incentivo, suporte e orientação.

À minha namorada Isabelle Santos, pela paciência, amizade e suporte durante esse período de estudos intensos, suportando a distância e as horas reduzidas de contato.

Ao meu orientador Cristiano Cavalcante, pelo incansável trabalho e dedicação postos na minha formação. Sua paciência, colaboração e orientação foram fundamentais para esta titulação.

Aos colegas do grupo de pesquisa RANDOM, pelo companheirismo e apoio nos estudos e pesquisas realizados.

Aos professores, funcionários e demais colegas do Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Pernambuco (PPGEP/UFPE), em especial aos colegas do grupo CDSID e GPSID, por me contemplarem com grandes oportunidades de aperfeiçoamento, experiência e aprendizado.

Aos professores da banca avaliadora, Ana Paula Costa e João Ferreira, pelo tempo e dedicação postos em avaliar e agregar aos conhecimentos construídos neste trabalho.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio financeiro e incentivo ao estudo e pesquisa durante todo o curso de mestrado, permitindo participação em eventos, publicação de trabalhos e, finalmente, o desenvolvimento desta dissertação.

Aos demais profissionais, colegas e colaboradores que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, meus sinceros agradecimentos.

*“Risk is our business!”*

Captain James T. Kirk (1968).

## RESUMO

O presente estudo trata de uma avaliação da efetividade de políticas de manutenção, através da formulação de um modelo multidimensional e consequente estruturação de um framework para aplicação sob contextos operacionais práticos diversos. Motivação para este trabalho advém do fato de muitas políticas de manutenção implementadas ou sob vias de adoção em diversos âmbitos industriais não serem realmente efetivas, sendo comum o desconhecimento acerca de tal caráter de efetividade por parte da equipe de manutenção encarregada, com desdobramentos que variam desde prejuízos financeiros até catástrofes em larga escala que põem em risco vidas humanas. Além disso, é notória na literatura uma carência por um modelo generalizado que seja capaz de avaliar a efetividade nas mais diversas operações de manutenção, tratando de maneira integrada múltiplas esferas que influenciam no “sucesso” de uma política. Nesse sentido, este desenvolvimento propõe a formulação de um modelo multidimensional para avaliação da efetividade de políticas de manutenção, agregando quatro esferas influenciadoras dentre abordagens já consagradas na literatura e visões inovadoras acerca da efetividade em tais políticas. São assim integradas dimensões relativas ao Nível de Melhoria Operacional, Qualidade dos Recursos da Manutenção, Esforço Gerencial e Alinhamento Estratégico. Como meio para operacionalização do modelo, é construído um framework prático integrando-se as quatro esferas formuladas em um único *score* final que representa, em termos gerais, a efetividade de uma política de manutenção, considerando seu contexto operacional de implementação e ambiente organizacional no qual se encontra inserido. Tal abordagem desenvolvida beneficia ambos os setores acadêmico e industrial, ao prover uma modelagem em escopo ampliado – em contraste com a literatura pulverizada atual – capaz de identificar ações e políticas prejudiciais subótimas. Como consequência última, contribui-se com melhores níveis de performance produtiva, eficiência no uso de recursos e operacionalização inteligente da manutenção, incrementando aspectos de competitividade e “saúde” global das organizações.

Palavras-chave: Efetividade. Políticas de manutenção. Apoio multicritério à decisão.

## ABSTRACT

This study deals with the evaluation of the effectiveness of maintenance policies, through the formulation of a multidimensional model of effectiveness and further structuring of a framework for application under various practical operational contexts. Motivation for this work stems from the fact that many maintenance policies implemented or in the process of being adopted in various industrial spheres are not really effective, and it is common for the maintenance team to be unaware of such effectiveness, with consequences ranging from financial losses to large-scale catastrophes that endanger human lives. Additionally, it is well noticed in the literature a need for a generalized model that would be able to evaluate effectiveness in the most diverse maintenance operations, treating multiple spheres that influence the “success” of a policy in an integrated way. In this sense, this development proposes the formulation of a multidimensional model for evaluating the effectiveness of maintenance policies, adding four influential spheres among already established approaches in the literature and innovative views about effectiveness in such policies. Dimensions related to the Level of Operational Improvement, Quality of Maintenance Resources, Managerial Effort and Strategic Alignment are integrated. As a means to operationalize the model, a practical framework is built integrating the four spheres of effectiveness in a single final score that represents, in general terms, the effectiveness of a maintenance policy, considering its operational context of implementation and organizational environment in which it is inserted. Such a developed approach benefits both the academic and industrial sectors, by providing modeling in an expanded scope – in contrast to the current pulverized literature – capable of identifying suboptimal harmful actions and policies. As a final consequence, it contributes to a better level of productive performance, efficiency in the use of resources and smart operation of maintenance, increasing aspects of competitiveness and global “health” of organizations.

Keywords: Effectiveness. Maintenance policies. Multicriteria decision aiding.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Delay time para um defeito.....	29
Figura 2 - Curva de Efetividade da Performance Humana vs Stress.....	34
Figura 3 - Curva do Ciclo de Vida do sistema vs Total de falhas causadas por erro humano ... .....	35
Figura 4 - Áreas abrangidas por guidelines para redução de erro humano em manutenção ...	36
Figura 5 - Framework Value-Focused Thinking .....	41
Figura 6 - Fatores para mensuração da efetividade da manutenção .....	46
Figura 7 - Esquemático do fator-chave “Confiabilidade” para dimensão de “Nível de Melhoria Operacional” .....	68
Figura 8 - Esquemático do fator-chave “Disponibilidade” para dimensão “Nível de Melhoria Operacional” .....	69
Figura 9 - Esquemático do fator-chave “Custos” para dimensão “Nível de Melhoria Operacional” .....	70
Figura 10 - Esquemático do fator-chave "Peças Sobressalentes" para dimensão "Qualidade dos Recursos de Manutenção" .....	86
Figura 11 - Esquemático do fator-chave "Estrutura de Manutenção" para dimensão "Qualidade dos Recursos de Manutenção" .....	87
Figura 12 - Esquemático do fator-chave "Condições Ambientais" para dimensão "Qualidade dos Recursos de Manutenção" .....	87
Figura 13 - Esquemático do fator-chave "Recursos Humanos" para dimensão "Qualidade dos Recursos de Manutenção" .....	88
Figura 14 - Esquemático do fator-chave "Implementação" para dimensão "Esforço Gerencial" .....	97
Figura 15 - Esquemático do fator-chave "Execução Continuada" para dimensão "Esforço Gerencial" .....	98
Figura 16 - Esquemático do fator-chave "Relacionamento com consumidores" para dimensão "Alinhamento Estratégico" .....	107
Figura 17 - Esquemático do fator-chave "Relacionamento com fornecedores" para dimensão "Alinhamento Estratégico" .....	107
Figura 18 - Esquemático do fator-chave "Competição de Mercado" para dimensão "Alinhamento Estratégico" .....	108

Figura 19 - Segmentação generalizada do Modelo Multidimensional com formulação em dois níveis de avaliação .....	112
Figura 20 - Segmentação generalizada do Modelo Multidimensional em avaliação "Micro" .....	115
Figura 21 - Primeira Etapa Operacional da Metodologia Multicritério para Avaliação da Efetividade de Políticas de Manutenção .....	119
Figura 22 - Segunda Etapa Operacional da Metodologia Multicritério para Avaliação da Efetividade de Políticas de Manutenção .....	119
Figura 23- Terceira Etapa Operacional da Metodologia Multicritério para Avaliação da Efetividade de Políticas de Manutenção .....	120
Figura 24 - Ilustração do procedimento de elicitação das constantes de escala para Dimensões de Efetividade .....	126
Figura 25 - Ilustração do procedimento de elicitação das constantes de escala para Fatores-chave da Dimensão "Qualidade dos Recursos de Manutenção" (D2) .....	131
Figura 26 - Escala de mensuração construída para um Aspecto qualquer .....	137
Figura 27 - Esquemático completo do exemplo ilustrativo adotado ao longo das Etapas Operacionais do Framework.....	144

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificações da Pesquisa .....	20
Tabela 2 - Políticas de manutenção: dimensões e caracterização .....	30
Tabela 3 - Comparativo de sequências de atividades em um processo de decisão .....	40
Tabela 4 - Objetivo Estratégico da Avaliação "Macro" .....	122
Tabela 5 - Objetivos Fundamentais da Avaliação "Macro" .....	122
Tabela 6 - Elicitação das constantes de escala das Dimensões pelo procedimento "swing" ..	125
Tabela 7 - Objetivos Estratégicos de todas as iterações possíveis durante Avaliação "Micro" .....	127
Tabela 8 - Objetivos Fundamentais para Dimensão "Qualidade dos Recursos de Manutenção" associados a seus respectivos fatores-chave.....	128
Tabela 9 - Elicitação das constantes de escala dos Fatores-chave pelo procedimento de "swing" .....	130
Tabela 10 - Perguntas explicitadoras de Itens para o Fator-chave "Condições Ambientais", parte da Dimensão "Qualidade dos Recursos de Manutenção" .....	133
Tabela 11 - Perguntas para enquadramento com Grupos de Relevância do Fator-chave "Condições Ambientais", parte da Dimensão "Qualidade dos Recursos de Manutenção" .....	134
Tabela 12 - Pontuação dos Aspectos do Item "Condições Climáticas", do Fator-chave "Condições Ambientais" pertencente à Dimensão "Qualidade dos Recursos de Manutenção" .....	139

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
CM	Corrective Maintenance
PM	Preventive Maintenance
RCM	Reliability Centered Maintenance
TPM	Total Productive Maintenance
CBM	Condition Based Maintenance
MCDA	Multicriteria Decision Aiding
VFT	Value-Focused Thinking
MAUT	Multiattribute Utility Theory
AHP	Analytic Hierarchy Process
SMART	Simple Multi Attribute Rating Technique
FITradeoff	Flexible and Interactive Tradeoff
ELECTRE	Elimination and Choice Translating Algorithm
PROMETHEE	Preference Ranking Organization Method of Enrichment Evaluation
MPM	Maintenance Performance Measurement
CMMS	Computerized Maintenance Management System
EPR	Equipment Performance and Reability
FMEA	Failure Mode and Effect Analysis
OEE	Overall Equipment Effectiveness
MM	Maintenance Management
RMP	Routine Maintenance Planning
NPP	Nuclear Power Plant
MPI	Maintenance Performance Indicator
IET	Institute for Energy and Transport
JRC	Joint Research Centre
EC	European Comission
HRO	High reliability Organizations
GAMM	Graphical Analysis for Maintenance Management
IoT	Internet of Things
TI	Tecnologia da Informação
SIMAP	Sistema Inteligente para Manutenção Preditiva
FMADM	Fuzzy Multiple Attribute Decision Making

ANFIS	Adaptative Neuro-fuzzy Inference System
RAM	Reliability, Availability and Maintainability
PAR	Proportional Age Reduction
PAS	Proportional Age Setback
MTBF	Mean Time Between Failures
RTMEF	Razão de Tempo Médio Entre Falhas
FP	Falhas de Prontidão
RFP	Razão de Falhas de Prontidão
UT	Razão Uptime-Downtime
Aa	Achieved Availability
MTBM	Mean Time Between Maintenance
MCMT	Mean Corrective Maintenance Time
MPMT	Mean Preventive Maintenance Time
RD	Razão de Disponibilidade
MTTR	Mean Time to Repair
RTMR	Razão de Tempo Médio de Reparo
ONG	Organização Não-Governamental
TTFS	Time to Failure of the System
AUC	Average Unit Cost
RC	Razão de Custos
CP	Custo por unidade de Produção
RCP	Razão dos Custos com a Produção
GR	Grupo de Relevância
OEM	Original Equipment Manufacturer
SMPE	Score of Maintenance Policy Effectiveness

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>16</b>
<b>1.1</b>	<b>Descrição do Problema .....</b>	<b>16</b>
<b>1.2</b>	<b>Justificativa e Relevância.....</b>	<b>18</b>
<b>1.3</b>	<b>Objetivos.....</b>	<b>18</b>
1.3.1	Objetivo Geral .....	18
1.3.2	Objetivos Específicos .....	19
<b>1.4</b>	<b>Metodologia.....</b>	<b>19</b>
<b>1.5</b>	<b>Estrutura do Trabalho.....</b>	<b>22</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO E REVISÃO DA LITERATURA.....</b>	<b>24</b>
<b>2.1</b>	<b>Referencial Teórico .....</b>	<b>24</b>
2.1.1	Manutenção .....	24
2.1.2	Políticas de Manutenção e Delay Time .....	28
2.1.3	Erro Humano .....	33
2.1.4	Eficácia x Eficiência x Efetividade .....	36
2.1.4.1	<i>Apoio Multicritério à Decisão.....</i>	<i>39</i>
<b>2.2</b>	<b>Revisão da Literatura .....</b>	<b>43</b>
<b>3</b>	<b>MODELO MULTIDIMENSIONAL PARA AVALIAÇÃO DA EFETIVIDADE DE POLÍTICAS DE MANUTENÇÃO .....</b>	<b>54</b>
<b>3.1</b>	<b>Nível de Melhoria Operacional .....</b>	<b>55</b>
3.1.1	Confiabilidade .....	57
3.1.2	Disponibilidade .....	60
3.1.3	Custos .....	63
3.1.4	Sumário Esquemático – Nível de Melhoria Operacional .....	67
<b>3.2</b>	<b>Qualidade dos Recursos de Manutenção.....</b>	<b>70</b>
3.2.1	Peças sobressalentes .....	71
3.2.2	Estrutura de Manutenção.....	75
3.2.3	Condições Ambientais.....	78
3.2.4	Recursos Humanos .....	81
3.2.5	Sumário Esquemático – Qualidade dos Recursos de Manutenção.....	85
<b>3.3</b>	<b>Esforço Gerencial .....</b>	<b>88</b>
3.3.1	Implementação .....	89
3.3.2	Execução Continuada .....	92

3.3.3	Sumário esquemático – Esforço Gerencial .....	96
<b>3.4</b>	<b>Alinhamento Estratégico .....</b>	<b>98</b>
3.4.1	Relacionamento com consumidores .....	100
3.4.2	Relacionamento com fornecedores .....	103
3.4.3	Competição de Mercado.....	104
3.4.4	Sumário Esquemático – Alinhamento Estratégico .....	106
<b>4</b>	<b>FRAMEWORK PARA AVALIAÇÃO MULTIDIMENSIONAL DA EFETIVIDADE DE POLÍTICAS DE MANUTENÇÃO.....</b>	<b>109</b>
<b>4.1</b>	<b>Metodologia Multidimensional .....</b>	<b>111</b>
<b>4.2</b>	<b>Procedimento para avaliação multidimensional da efetividade de políticas de manutenção .....</b>	<b>120</b>
4.2.1	Avaliação “Macro” .....	121
4.2.1.1	<i>Familiarização do avaliador com Proposta de Avaliação de Efetividade: .....</i>	<i>121</i>
4.2.1.2	<i>Familiarização do avaliador com Dimensões: .....</i>	<i>122</i>
4.2.1.3	<i>Elicitação das constantes de escala para Dimensões:.....</i>	<i>122</i>
4.2.1.4	<i>Exemplo ilustrativo para output de constantes de escala “peso” para cada Dimensão: .....</i>	<i>125</i>
4.2.2	Avaliação “Micro” .....	126
4.2.2.1	<i>Familiarização do avaliador com Proposta da Dimensão:.....</i>	<i>127</i>
4.2.2.2	<i>Familiarização do avaliador com Fatores-Chave:.....</i>	<i>128</i>
4.2.2.3	<i>Elicitação das constantes de escala para Fatores-chave: .....</i>	<i>129</i>
4.2.2.4	<i>Exemplo ilustrativo para output de constantes de escala “peso” para cada Fator-chave: .....</i>	<i>130</i>
4.2.2.5	<i>Explicitação de Itens relevantes: .....</i>	<i>131</i>
4.2.2.6	<i>Enquadramento com Grupos de Relevância:.....</i>	<i>133</i>
4.2.2.7	<i>Teste de Consistência entre Fatores-chave e Aspectos relevantes: .....</i>	<i>135</i>
4.2.2.8	<i>Pontuação de Aspectos relevantes:.....</i>	<i>136</i>
4.2.2.9	<i>Normalização de pontuação em cada Fator-chave, considerando possíveis Grupos de Relevância: .....</i>	<i>137</i>
4.2.2.10	<i>Exemplo ilustrativo para output de Nota final de cada Fator-chave: .....</i>	<i>139</i>
4.2.3	Agregação de Resultados .....	140
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>145</b>
<b>5.1</b>	<b>Limitações e Sugestões para Trabalhos Futuros .....</b>	<b>147</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>149</b>

<b>APÊNDICE A – Detalhamento da Avaliação “Micro” Para Dimensão “Nível de Melhoria Operacional” .....</b>	<b>155</b>
<b>APÊNDICE B – Detalhamento da Avaliação “Micro” para Dimensão “Qualidade dos Recursos de Manutenção” .....</b>	<b>157</b>
<b>APÊNDICE C – Detalhamento da Avaliação “Micro” para Dimensão “Esforço Gerencial” .....</b>	<b>161</b>
<b>APÊNDICE D – Detalhamento da Avaliação “Micro” para Dimensão “Alinhamento Estratégico” .....</b>	<b>163</b>
<b>APÊNDICE E – Ficha de Análise Qualitativa para Efetividade de Manutenção.....</b>	<b>166</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Sociedades modernas em geral apresentam na centralidade de suas atividades o uso de objetos criados e aperfeiçoados para realizar uma determinada função, podendo também ser denominados objetos “engenheirados” (*engineered objects*). É sabido, no entanto, que tais equipamentos são por natureza falíveis no sentido que tendem a se degradar com tempo ou até mesmo pelo uso regular, o que em última instância pode levar ao comprometimento do desempenho de sua função, caracterizando a falha. É nesse contexto que surge a Manutenção enquanto conjunto de ações de ordem técnica, administrativa e gerencial com a finalidade de prolongar o tempo de vida útil de um objeto, fazê-lo retornar ao seu estado operacional ou mesmo manter seu desempenho adequado (BEN-DAYA et al., 2016).

Um conceito chave neste contexto é o de Políticas de Manutenção, que são conjuntos de instruções que traduzem os resultados de modelos matemáticos em diretrizes de caráter gerencial, com a finalidade de otimizar algum objetivo específico, seja a minimização do custo, maximização da disponibilidade ou outro aspecto previamente definido para o qual a política é projetada para otimizar.

Ainda dentro de Políticas de Manutenção, um tema bastante crítico é a efetividade desses regimes, uma discussão que se torna importante sob vistas das possíveis consequências de uma política não efetiva, que vão desde falhas em equipamentos e desempenho abaixo dos limites toleráveis até prejuízos financeiros, redução da competitividade no mercado, riscos ambientais e possíveis perdas humanas (SINHA, 2015; PINTELON; PINJALA, 2006).

Estudar como Políticas de Manutenção podem ser efetivas para diversos sistemas de operação e avaliar se uma política atualmente adotada é realmente efetiva ou não constitui assim um tema de suma importância, ainda mais em um contexto de evolução dos sistemas de manufatura no qual consequências de falhas tendem a ter proporções cada vez mais graves. Relevância adicional é observada no que tange à criação de uma metodologia multidimensional unificada, contrapondo-se à diversidade – em certas ocasiões até divergente – do modo como a efetividade em manutenção tem sido abordada na literatura atual.

### 1.1 Descrição do Problema

Manutenção é uma atividade dispendiosa. Despesas associadas ao setor podem variar entre 15% a 45% do custo de produção, sendo largamente mensurada como um dos principais componentes dos custos de ciclo de vida (*lifecycle costs*) de equipamentos empregados nas

mais diversas operações da Indústria e Serviços (DUNN,1987; MOBLEY, 2002; MOFOKENG et al., 2020; STEFFEN et al., 2019; TUYET e CHOU, 2018). Löfsten (2000) e Park e Han (2001) reforçam a ideia de que custos de manutenção constituem uma das maiores parcelas do orçamento operacional, juntamente aos gastos com energia. Somado ao fato de que atividades relativas à manutenção são conduzidas na planta e não sobre os produtos diretamente, torna-se difícil mensurar o benefício trazido por essa atividade à produção como um todo e reforça-se a imagem da Manutenção como uma atividade marginal (Scarf, 1997) ou fonte de grandes custos “desnecessários” à organização, tal qual uma espécie de “mal necessário” (Al-Najjar, 2007).

Adicionalmente à constatação de que resultados na performance da produção em função de investimentos em manutenção não são diretamente obtidos, também é observado que alguns modelos de manutenção amplamente desenvolvidos na Academia – aplicados até certa medida na Indústria – não são efetivos na prática e podem trazer prejuízos ao sistema, sendo seu mau-desempenho dificilmente identificado e investigado – em parte devido aos fatores previamente citados. Oke e Ighravwe (2017) destacam tal fenômeno ao afirmar que, apesar de diversos modelos para performance da manutenção terem sido propostos na literatura, muitos apresentam desempenho real ineficiente ou são impraticáveis devido às suas suposições demasiadamente simplistas, não levando em consideração particularidades nas quais alguns fatores devem ser priorizados sob certas condições.

Tendo isso posto, observa-se que Efetividade em Manutenção não é um tema consensual atualmente, havendo diversas metodologias propostas com características específicas – algumas até discordantes entre si. Numa análise global da literatura, observa-se uma ênfase sobre estudos de caso e aplicações restritas, o que acaba por criar divergências acerca dos principais fatores-chave que influenciam a efetividade das políticas em análise, supervalorizando certos aspectos em detrimento de outros também importantes.

Inicialmente, uma das vertentes de estudo propõe o enquadramento do tema em duas visões gerais, a saber: efetividade organizacional e efetividade em políticas de manutenção (BEN-DAYA et al., 2016). Abordagens também são observadas em termos de Estratégia de Manutenção e sua efetividade (PINTELON; PINJALA, 2006), havendo uma maior preocupação no alinhamento desta com a Estratégia Corporativa e a definição de um plano para a efetividade da Estratégia de Manutenção. Um tratamento aliando Confiabilidade e Gestão de Manutenção – com vistas ao aumento da efetividade das ações de manutenção – também tem sido desenvolvido atualmente (Sinha, 2015), desta vez com foco nos equipamentos e maquinário físico, suas características e modos de falha. Um último

desenvolvimento a ser citado relaciona-se ao campo de estudo do Erro Humano (*Human Error*), onde fatores do operador de manutenção e suas condições de trabalho são postos como alvos principais para análise da efetividade de uma política de manutenção.

## **1.2 Justificativa e Relevância**

De forma holística, observa-se que, apesar do extenso desenvolvimento atual acerca da problemática da Efetividade em Políticas de Manutenção, muito se perde com o estudo focado em uma ou poucas esferas que compõem a Manutenção. Torna-se assim interessante a busca por metodologias que consigam unificar, em uma única abordagem, a análise de diversos elementos que caracterizam uma Política de Manutenção, tendo vistas ao seu contexto de aplicação na prática e possíveis interligações entre fatores-chave.

Diante do exposto, enfatiza-se a relevância da proposta deste trabalho, no tocante à realização de um estudo amplo e coerente acerca da efetividade de políticas de manutenção, juntamente com o desenvolvimento de uma abordagem que permita avaliar tal efetividade em aspectos que evidenciem o impacto de políticas e ações no sistema produtivo. A proposta de uma configuração multidimensional – levando em consideração esferas inovadoras até então pouco abordadas no meio acadêmico – confere robustez à análise a ser desenvolvida. A adaptação dessa abordagem em um framework de simples entendimento e aplicação, por sua vez, beneficiará enormemente o setor industrial e suas operações, sendo possível identificar mais diretamente ações e políticas subótimas ou até prejudiciais a determinados contextos práticos. Como consequência última, o desenvolvimento aqui proposto potencialmente resultará em melhores níveis de performance, menores desperdícios de recursos e maiores facilidades de operacionalização de políticas de manutenção efetivas, assim contribuindo com a competitividade e “saúde” global das organizações.

## **1.3 Objetivos**

Objetivos específicos e geral do trabalho proposto são delineados a seguir.

### **1.3.1 Objetivo Geral**

Desenvolver um modelo com viés prático para avaliação da efetividade de políticas de manutenção.

### 1.3.2 Objetivos Específicos

- a) Realizar uma revisão abrangente da literatura acerca dos aspectos que englobam a Efetividade em Manutenção, buscando entender os elementos essenciais que conduzem à definição de políticas efetivas e analisando as diferentes abordagens até então desenvolvidas com a finalidade de melhor adequar o escopo do trabalho e suprir *gaps* existentes;
- b) Desenvolver um modelo multidimensional extensivo para análise da efetividade de políticas de manutenção em diversos contextos operacionais;
- c) Propor um framework prático como aplicação do modelo multidimensional extensivo para avaliação da efetividade de políticas de manutenção.

## 1.4 Metodologia

Baseado na literatura de Gil (2002), convém classificar este trabalho de acordo com a área de conhecimento, finalidade, objetivos gerais e procedimentos técnicos utilizados. Em adição, classifica-se de acordo com a abordagem geral (quantitativa e/ou qualitativa). Ainda de acordo com o mesmo autor, faz-se importante definir a metodologia de pesquisa adotada, permitindo assim uma melhor organização e entendimento dos fatos, ampliando a gama de elementos à disposição para aplicação do pesquisador, além de conferir uma maior racionalidade às etapas requeridas para a execução do estudo proposto.

Em se tratando da área de conhecimento, o trabalho se enquadra, segundo a classificação do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), na área de Engenharias, uma vez que se trata de um desenvolvimento no campo da Pesquisa Operacional, relacionado à Engenharia de Produção.

Segundo sua finalidade, a pesquisa se classifica na categoria de Pesquisa Aplicada, buscando adquirir novos conhecimentos teóricos na área de Efetividade em Políticas de Manutenção somado ao compromisso com aplicações práticas e solução de problemas reconhecidos nas mais diversas operações da Indústria relacionadas à Manutenção.

Os objetivos gerais do trabalho aqui proposto o alinha à categoria de Pesquisa Exploratória, uma vez que é desejado proporcionar maior familiaridade com o problema da falta de efetividade de algumas políticas de manutenção, tornando-o mais explícito, além de levantar hipóteses e avaliações acerca deste fenômeno.

Com relação a procedimentos técnicos empregados, classifica-se na categoria de Pesquisa Bibliográfica. Este se desenvolve de uma maneira natural à Pesquisa exploratória, sendo comum a obtenção de dados a partir de outras pesquisas e artigos científicos publicados. Entender como a literatura está disposta acerca do tema de Efetividade em Manutenção é fundamental para alinhar a proposta de trabalho e desenvolver contribuições inovadoras que supram lacunas no conhecimento atual, tanto acadêmico quanto prático.

Observa-se, na pesquisa, a adoção das abordagens tanto quantitativa quanto qualitativa, tendo em vista que a metodologia proposta engloba dimensões tanto exatas, com construção de índices numéricos para avaliação de efetividade, como também aspectos qualitativos em dimensões moldadas a partir de fenômenos observáveis, que se traduzem em fatores-chave a serem analisados.

De maneira esquemática, as classificações atribuídas para a pesquisa aqui proposta podem ser resumidas como de acordo com a Tabela 1 que se segue:

Tabela 1 - Classificações da Pesquisa

<b>Área de Conhecimento</b>	Engenharias
<b>Finalidade</b>	Pesquisa Aplicada
<b>Objetivos Gerais</b>	Pesquisa Exploratória
<b>Procedimentos Técnicos</b>	Pesquisa Bibliográfica
<b>Abordagem</b>	Quantitativa Qualitativa

Fonte: O Autor (2020).

Em se tratando de maneira mais específica ao desenvolvimento deste trabalho em sua temática, a metodologia de pesquisa constitui, em sua fase inicial, numa revisão teórica abrangente acerca de conceitos fundamentais em Manutenção, Políticas de Manutenção, Erro Humano, Efetividade e Apoio Multicritério à Decisão, além de uma revisão sobre como se dispõe a literatura acerca da temática de Efetividade em Manutenção, nas suas mais diversas abordagens.

A partir dessa fundamentação, propõe-se uma abordagem inovadora e multidimensional ao estudo e avaliação das políticas de manutenção, primariamente categorizadas em quatro esferas distintas e complementares, a saber: (i) o nível de melhoria operacional proporcionado pela política de manutenção; (ii) a influência da qualidade dos recursos de manutenção na efetividade da política; (iii) o esforço gerencial relativo à

implementação de uma determinada política de manutenção e (iv) o alinhamento estratégico da política com as diretrizes corporativas da organização.

Uma primeira forma de analisar manutenção em termos de efetividade é através da consideração quantitativa de resultados obtidos a partir de diferentes políticas de manutenção. Análises podem ser desenvolvidas baseadas em indicadores de performance comumente já desenvolvidos como instrumentos de validação e mensuração de tais políticas propostas na literatura.

Outra esfera de estudo investiga a qualidade dos recursos empregados, numa primeira distinção entre recursos materiais e não-materiais. Nesse âmbito, uma análise qualitativa baseada em fatores-chave se faz interessante, contemplando situações práticas da Indústria e cenários onde fatores intangíveis (como o elemento humano, por exemplo) podem levar a conclusões não óbvias acerca das medidas mais efetivas a serem adotadas.

Uma terceira análise é proposta de maneira inovadora para avaliação de políticas de manutenção: baseando-se no seu esforço gerencial. Novamente, neste momento um estudo qualitativo baseado em fatores-chave e fundamentado em casos práticos da Indústria se faz recomendado.

Por fim, uma última dimensão de avaliação se faz relativa ao alinhamento estratégico da política de manutenção com as diretrizes corporativas da organização, o que inclui sua orientação em termos mais voltados ao longo prazo (visão, missão, valores, manobras estratégicas, entre outros), considerando a estrutura organizacional como um todo. Uma categorização em fatores-chave também se faz adequada para este âmbito, a depender da postura estratégica adotada.

Uma vez consolidadas estas quatro dimensões, conclusões em cada âmbito são traçadas na forma de aspectos positivos e negativos, tratando-se de possíveis ações de manutenção a serem adotadas de acordo com cada fator-chave identificado. Finalmente, um framework simples baseado na abordagem multidimensional desenvolvida é estruturado como ferramenta para avaliação de políticas de manutenção adotadas ou em vias de adoção por parte do setor de manutenção de uma organização qualquer da Indústria. Para tanto, hão de ser trabalhados de maneira não-exaustiva métodos inspirados na teoria do Apoio à Decisão Multicritério para unificação das quatro esferas, traduzindo as análises quantitativas e qualitativas numa única métrica de avaliação coerente e sucinta.

## 1.5 Estrutura do Trabalho

O presente trabalho encontra-se dividido em 5 seções principais, a saber: Introdução, Referencial teórico e revisão da literatura, Modelo Multidimensional para Avaliação da Efetividade de Políticas de Manutenção, Framework para Avaliação Multidimensional da Efetividade de Políticas de Manutenção e Considerações finais.

Na introdução, é apresentado de maneira sucinta uma contextualização ao problema atual abordado nesta dissertação, com enfoque à justificativa e relevância das propostas deste estudo. Objetivos tanto gerais quanto específicos são delineados e a estrutura do trabalho como um todo é devidamente explanada.

No segundo capítulo, uma construção enxuta do referencial teórico fundamental ao desenvolvimento do trabalho é trazida, subdividida nos principais temas de Manutenção, Políticas de Manutenção e *Delay Time*, Erro Humano, conceituações acerca dos termos “Eficácia”, “Eficiência” e “Efetividade” e finalmente uma introdução à teoria do Apoio Multicritério à Decisão. Consolidados tais conhecimentos, uma revisão da literatura pertinente com enfoque sobre a Efetividade em Manutenção é tratada, observando bem como o tema é atualmente desenvolvido e os principais *gaps* ainda não trabalhados em devida dimensão pela Academia. Ressalta-se que, apesar de não focalizar a efetividade sobre políticas de manutenção propriamente ditas, a revisão da literatura aqui proposta amplia seu escopo para uma análise global do tema de Efetividade em Manutenção com a finalidade de entender os elementos essenciais que conduzem à definição de políticas efetivas.

Em terceira seção, é desenvolvido o Modelo Multidimensional para Avaliação da Efetividade de Políticas de Manutenção, de modo extensivo, subdividido nas dimensões de Nível de Melhoria Operacional, Qualidade dos Recursos da Manutenção, Esforço Gerencial e Alinhamento Estratégico, sendo essa uma das principais contribuições deste trabalho. Em cada dimensão, fatores-chave são levantados para posterior aplicação em um *framework* prático, o que se dá em seção subsequente.

Assim sendo, o capítulo quatro traz uma sugestão para aplicação do Modelo Multidimensional extensivo na forma de um *framework* sucinto para avaliação – também multidimensional – de políticas de manutenção. Nessa contribuição, evidencia-se o seu aspecto prático e de fácil aplicação na Indústria, alicerçando-se sob os mesmos fatores-chave desenvolvidos em seção anterior deste trabalho, bem como o tratamento das múltiplas dimensões de avaliação sob uma métrica unificada inspirada em Métodos de Apoio Multicritério à Decisão.

Finalmente, uma seção acerca das Considerações Finais é disposta no item cinco. Nesse momento, são trazidas ideias de possíveis futuros trabalhos que potencialmente fornecerão continuidade à temática proposta, além da descrição de limitações existentes no presente desenvolvimento e um balanço final no que tange ao cumprimento dos objetivos inicialmente traçados.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO E REVISÃO DA LITERATURA

Nesta seção são apresentados um breve Referencial Teórico e Revisão da Literatura pertinentes ao escopo do trabalho proposto. O primeiro cumpre a finalidade de orientar acerca dos conceitos básicos – já consolidados nas respectivas áreas do conhecimento – que serão utilizados como fundamento para o desenvolvimento da metodologia aqui estruturada, enquanto a Revisão da Literatura objetiva estudar e entender numa visão mais ampla as contribuições prévias existentes e como se organiza a Academia acerca do presente eixo temático abordado, conhecendo assim os principais aspectos trabalhados e lacunas ainda não devidamente exploradas.

### 2.1 Referencial Teórico

#### 2.1.1 Manutenção

Segundo a definição encontrada em Ben-Daya et al (2016), combinada com a visão oferecida por Almeida et al (2015), Manutenção pode ser entendida em termos simples como a combinação de todas as ações gerenciais, técnicas e administrativas durante o ciclo de vida de um item, sendo duas as suas finalidades básicas: (i) controlar ou prevenir a deterioração de um objeto “engenheirado”, prolongando seu tempo de vida ao máximo possível e (ii) restaurar o objeto ao seu estado operacional após uma falha, quando esta não puder mais ser evitada. Por ações gerenciais, técnicas e administrativas entende-se o conceito de Ações de Manutenção, que constituem uma espécie de “blocos fundamentais” da Manutenção e podem ser exemplificadas por medidas como inspeção, revisão, desmontagem/remontagem, reparo, entre outros.

Sob o âmbito estratégico, os objetivos da manutenção devem estar diretamente alinhados com os objetivos do negócio e características do sistema produtivo (PINTELON; PINJALA, 2006). De maneira geral, pode-se listar como objetivos comuns da Manutenção ao longo de diversos setores, segundo Corder (1976):

- Estender a vida útil dos equipamentos;
- Assegurar níveis satisfatórios de disponibilidade;
- Garantir a prontidão operacional do sistema;
- Prover a segurança das pessoas que fazem uso das instalações.

Retomando a dupla finalidade básica da Manutenção, explanada previamente, duas abordagens principais se distinguem com base no modo como as Ações de Manutenção são propostas e executadas, tal qual Ben-Daya et al (2016):

- **Manutenção Corretiva (CM):** Ações de Manutenção são conduzidas após o reconhecimento de uma falha, buscando assim colocar o item falho de volta a um estado operacional que o permita executar sua função normalmente. Fala-se aqui em subclassificações entre Manutenção Corretiva Imediata e Adiada (em relação ao instante da falha), com conceitos importantes envolvendo Reparo Perfeito (sistema retorna ao estado “*as good as new*”), Reparo Mínimo (confiabilidade do item não se altera após a Ação de Manutenção), e Reparo Imperfeito (sistema é restaurado a um estado não “*as good as new*”). Atende à finalidade básica (ii) previamente definida;
- **Manutenção Preventiva (PM):** Também traduzida como “Manutenção Planejada”, nesta, Ações de Manutenção são conduzidas de acordo com critérios prescritos de tempo, uso ou condições de operação, de forma a reduzir a probabilidade de falha ou degradação de um item. Uma subclassificação imediata de tal abordagem pode ser feita no tocante à Manutenção Predeterminada (essencialmente preventiva), Baseada na Condição do Equipamento (fala-se aqui em termos de Manutenção Preditiva) e Oportunística (aproveitando “janelas de disponibilidade” para execução das Ações de Manutenção). Também são trabalhados nessa visão conceitos de Ações Perfeitas e Imperfeitas, de modo similar ao explanado no caso de Manutenção Corretiva. Atende à finalidade básica (i) previamente definida.

Manutenção pode ser ainda contemplada como uma junção de ciência (sua execução depende eventualmente de todas as outras ciências), arte (problemas aparentemente idênticos geralmente demandam abordagens e ações distintas, além de evidenciar uma aptidão quase que “inata” em certos profissionais) e filosofia (deve ser bem adaptada a cada contexto de operação e organização, em geral podendo ser aplicada de maneira intensa, moderada ou mínima, a depender de um grande leque de variáveis que transcendem as soluções mais óbvias e imediatas).(MOBLEY et al., 2008).

Historicamente, a importância da Manutenção para organizações não recebeu o devido reconhecimento de imediato, sendo necessárias décadas de pesquisa e desenvolvimento até que esta fosse devidamente aceita como uma das funções-chave para o sucesso de uma indústria nas suas mais diversas operações. Até a década de 1940, manutenção era considerada apenas um custo inevitável, operacionalizado exclusivamente por vias corretivas, sem nenhuma influência no projeto de um sistema ou componente. Após a Segunda Guerra

Mundial (década de 1950), a revolução do até então novo ramo denominado “Pesquisa Operacional” alcançou o escopo da Manutenção. Diversos modelos começaram a ser propostos em ritmo ascendente, mas ainda sem considerar o impacto destes na performance geral do negócio (ALMEIDA et al., 2015; BEN-DAYA et al., 2016).

Em meados de 1970, uma abordagem mais integrada entre Manutenção e Confiabilidade lançou as bases do que hoje é conhecido como *Reliability Centered Maintenance* (RCM), com maior foco nos custos ao longo de ciclo de vida dos equipamentos. Sucintamente, RCM é uma visão acerca da Manutenção que prioriza ações e esforços com base na confiabilidade do componente e consequências de sua falha durante a operação. Simultaneamente, os japoneses desenvolveram o conceito de *Total Productive Maintenance* (TPM), que vê a manutenção com base no impacto sobre o sistema produtivo através de índices como disponibilidades, qualidade e taxa de produção. Um diferencial desse último método é o envolvimento de todos os colaboradores da planta nas atividades de manutenção, funcionando como uma espécie de “manutenção autônoma”. A partir dos anos 1980, uma maior ênfase tem sido observada no que tange à *Condition Based Maintenance* (CBM), na qual avanços nas tecnologias de sensores possibilitaram o monitoramento contínuo de sistemas, sendo seu estado de degradação utilizado como fundamento para a execução de atividades de Manutenção Preventiva (BEN-DAYA et al., 2016).

Atualmente, apesar de alguns contextos empresariais ainda tratarem a manutenção meramente como um “fardo” em termos de fonte de custos – sendo apenas atividades mínimas desempenhadas, em caráter corretivo – já se reconhece a Manutenção como uma Função própria dentro da organização, auxiliando na competitividade do negócio dentro do mercado (ALMEIDA et al., 2015). Ainda nessa visão de Função Organizacional, Mobley et al (2008) elencam algumas atividades e responsabilidades comuns à prática da Manutenção nos mais diversos setores de atuação, agrupados em termos de atribuições primárias (demandam trabalho diário por parte da manutenção) e secundárias (delegadas à manutenção por questões de conveniência e *know-how*):

- Atribuições primárias: manutenção dos equipamentos da planta, manutenção das instalações da planta, inspeções de equipamentos e lubrificação, geração e distribuição de insumos (eletricidade e vapor, por exemplo), alterações e novas instalações;
- Atribuições secundárias: Manutenção de inventário (componentes mecânicos), proteção da planta, depósito de lixo, salvamento, administração de seguros, entre outros serviços.

A Função Manutenção traz em sua natureza algumas características particulares não observáveis em outras Funções na organização. Uma delas é a sua atemporalidade, que nada mais é do que a constatação de que, ao contrário de muitas outras Funções, a Manutenção não apresenta um período definido durante o qual o componente fica sob os cuidados exclusivos da operação, visto que enquanto o sistema estiver em funcionamento há a necessidade de se desenvolver Ações de Manutenção. Adicionalmente, a Manutenção lida com processos naturais de degradação (corrosão, por exemplo) que atuam continuamente sobre o sistema, justificando novamente o fator de atemporalidade. Outro aspecto é o fato das ações desenvolvidas em manutenção não possuírem um tempo “certo” para serem executadas, por mais que haja demandas advindas do sistema. Isso permite que atividades sejam desempenhadas até quando o sistema se encontra inativo (*Downtime*) – algo por vezes necessário quando o sistema é de difícil acesso (ALMEIDA et al., 2015).

A partir da abordagem da Manutenção enquanto Função, faz sentido entender o conceito de Gestão da Manutenção, onde são tomadas as decisões relacionadas à manutenção dentro do contexto de operação na organização. Abrange todos os níveis hierárquicos: estratégico, tático e operacional, sendo também responsável por iniciar ações para implementar tais decisões (frequentemente recorrendo, para isso, à estruturação de *frameworks*). Exemplos de decisões podem variar desde a terceirização de serviços e definição de orçamentos até gestão de inventário e agendamento de Ações de Manutenção (BEN-DAYA et al., 2016).

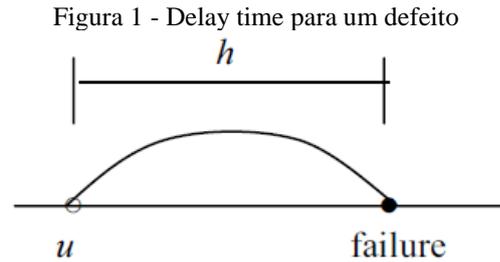
Por fim, Ben-Daya et al (2016) trazem algumas novas tendências sendo atualmente trabalhadas no campo da Manutenção. Nesse sentido, o avanço tecnológico tem alterado profundamente os conceitos e metodologias relativas à manutenção, principalmente quando se pondera o aumento da complexidade dos sistemas produtivos, com falhas e defeitos cada vez mais difíceis de serem identificados (em relação à complexidade do mecanismo e tempo necessário para avaliação do componente). Avanços no desenvolvimento de sensores cada vez mais precisos aliados a Sistemas de Informação cada vez mais rápidos têm trazido maior dinamicidade ao planejamento de atividades, especialmente na abordagem voltada ao monitoramento da condição do sistema. Sob a ótica gerencial, o foco recente tem se voltado mais à análise de causas-raiz – em contraponto à tática “falha-corrige” – com maior orientação a processos, tendo o consumidor final como alvo máximo das ações desempenhadas. Táticas recentes nesse ramo envolvem uma abordagem sobre a manutenção baseada em risco e a consideração da terceirização das atividades relativas à manutenção.

### 2.1.2 Políticas de Manutenção e Delay Time

A literatura que compreende o tema de Políticas de Manutenção é extensa, de modo que não se faz viável descrevê-la por completo nesta presente fundamentação teórica. Aqui preocupa-se, portanto, em explicar conceitos básicos acerca do que vem a ser uma política de manutenção, bem como suas principais grandezas envolvidas, variações e desenvolvimentos recentes que irão agregar valor à metodologia proposta neste trabalho.

Uma definição sucinta pode ser encontrada em Almeida et al. (2015), segundo o qual uma Política de Manutenção nada mais é do que o processo de coordenação das Ações de Manutenção voltado às características particulares de um sistema e objetivos dos decisores, que por sua vez refletem os objetivos estratégicos da organização. Ainda de acordo com esta definição, para a consolidação de uma política, faz-se fundamental a associação de um modelo matemático, permitindo a definição dos níveis de cada atividade com o objetivo de otimizar os resultados obtidos. Ben-Daya et al. (2016), por outro lado, conceituam Políticas de Manutenção como um conjunto de regras que descrevem o mecanismo de “gatilho” para as diferentes Ações de Manutenção, planejadas e suportadas pela própria Função Manutenção.

Antes de aprofundar os demais aspectos das políticas de manutenção, se faz importante estabelecer um conceito base para o entendimento de diversos modelos desenvolvidos nos últimos tempos: o *Delay Time*. Para tanto, Kobbacy e Murthy (2008) consideram um item ou equipamento mantido apenas através do conserto (Manutenção Corretiva) de eventuais quebras. Dada uma falha, o intervalo de tempo entre o primeiro instante no qual uma inspeção ou monitoramento poderia ter capturado algum sinal preditivo de mal funcionamento (“anunciando” a falha futura do equipamento) até o momento da quebra propriamente dita é chamado de “*Delay Time*”. Em termos de notação, utiliza-se “*u*” para o momento inicial de detecção do mal funcionamento e “*h*” para o intervalo de tempo do *delay time*. Dessa forma, essa abordagem considera a existência de um período chamado “defeituoso” anterior a qualquer falha de um item, num intervalo  $(u, u+h)$ , que representa uma “janela de oportunidade” para a execução de atividades que visam a prevenção da falha posterior.



Fonte: Kobbacy; Murthy (2008).

Voltando-se a falar em Políticas de Manutenção, Jardine (1973) classificam tais políticas em duas classes gerais: Modelos Determinísticos e Probabilísticos. Principais diferenças entre estes se fazem na existência de um processo estocástico – na modalidade probabilística – que rege os eventos tratados dentro da política, além de, no caso determinístico, não haver a verificação de uma completa falha de um item. Dentre alguns subgrupos alocados em cada uma dessas classes, pode-se destacar:

- Modelos Determinísticos: Modelos de substituição para equipamentos quando o custo operacional cresce com o uso; substituição quando o custo operacional cresce com o uso em horizontes finitos de tempo; substituição para equipamentos considerados capital de investimento, considerando-se o benefício líquido descontado ou melhoria tecnológica.
- Modelos Probabilísticos: Modelos de substituição por idade; substituição por idade considerando-se tempos de reparo e substituição; substituição em bloco.

Alternativamente, McCall (1965) foca os modelos probabilísticos buscando identificar a estrutura comum que permite explicitar as relações entre diversas políticas de manutenção. Segundo o mesmo autor, os modelos se dividem em duas categorias básicas: modelos de prontidão e de manutenção preventiva. Ambas se caracterizam por um processo de falha estocástica, diferenciando-se no que se refere ao conhecimento do status operacional do equipamento. Enquanto que em sistemas de prontidão o estado do componente não é sabido por certo – o que implica na recomendação de ações de inspeção em associação à substituição – em se tratando de manutenção preventiva a situação deste equipamento é sempre manifestada com certeza, de modo que uma vez a taxa de falha se mostrando crescente ou o custo de correção da quebra se tornando maior do que a substituição prévia, recomenda-se realizar a substituição preventiva.

Embora modelos de prontidão tenham recebido considerável desenvolvimento e destaque em tempos mais recentes, associando-se à vertente de Manutenção Baseada na

Condição (CBM) com a incorporação de diversas novas tecnologias de suporte, este trabalho foca sua revisão mais especificamente no campo de modelos de Manutenção Preventiva, de acordo com a classificação apresentada.

Ben-Daya et al. (2016) ressaltam a caracterização da política de manutenção através de um ou mais parâmetros que podem ser compreendidos como variáveis de decisão, cuja configuração deve ser estabelecida de forma a otimizar alguma função objetivo envolvendo a performance de um item dentro de um horizonte temporal especificado. Escolhas ótimas nesse âmbito dependem de diversos fatores como monitoramento, inspeção, uso, entre outros. Algumas das dimensões a serem consideradas em políticas de manutenção são brevemente caracterizadas pelos autores, como mostrado na tabela 2:

Tabela 2 - Políticas de manutenção: dimensões e caracterização

<b>Dimensão</b>	<b>Variáveis</b>
Item	Único componente Múltiplos componentes
Estado do item	Dois níveis Mais de dois níveis e finito Infinito
Monitoramento do Estado	Contínuo Discreto
Intervalo de inspeção	Constante Variável
Parâmetros	Conhecidos Incertos
Horizonte temporal	Finito Infinito
Uso do item	Contínuo Intermitente
Reparo	Mínimo Imperfeito Perfeito
Tempo de reparo	Levado em consideração Insignificante

Fonte: Adaptado de Ben-Daya *et al.*(2016).

Primariamente, uma classificação básica é posta discernindo entre políticas a nível de componente e produto (mais de um tipo de componente). Dentro desta, uma subdivisão é feita dentre aquelas que apresentam como variáveis de decisão ações preventivas (PM), corretivas (CM) e as que possuem ambos os tipos de ações (PM e CM) como variáveis de decisão.

De maneira sucinta, uma breve descrição de algumas políticas dentro desta classificação proposta por Ben-Daya et al. (2016) é trazida, a nível de componente, com a finalidade de prover uma noção básica de alguns modelos a serem levados em consideração durante o desenvolvimento metodológico do presente trabalho. Comentários adicionais acerca de desenvolvimentos mais recentes e abordagem multicomponente (nível de produto) são tratados posteriormente segundo Almeida et al. (2015).

A nível de componente, algumas políticas que apresentam ações preventivas como variáveis de decisão são:

- Substituição por idade: Uma unidade é substituída preventivamente ao alcançar uma certa idade " $T$ " (variável de decisão) constante ou após uma falha (ação corretiva);
- Substituição em Bloco: Um conjunto de componentes iguais é inteiramente substituído de modo preventivo após intervalos de tempo fixos " $kT$ " (variável de decisão), sendo falhas corrigidas (substituídas, ação corretiva) individualmente logo após sua ocorrência;
- Substituição por limite de falha (tradução livre): um componente é substituído preventivamente quando sua taxa de falha alcança um certo limite estabelecido " $\psi$ " (variável de decisão), sendo todas as demais falhas nesse intervalo reparadas minimamente ou de forma imperfeita;
- Substituição periódica: um componente é substituído após intervalos de tempo fixos " $kT$ " (variável de decisão), sendo falhas corrigidas através de reparo mínimo.

Algumas outras políticas que apresentam ações corretivas como variáveis de decisão, ainda dentro do escopo de nível de componente, são:

- Reparo por limite de custo: quando um componente falha, o custo do reparo é estimado e executado se este é menor do que um certo limite " $v$ " (variável de decisão). Caso contrário, o item é substituído;
- Reparo por limite de tempo: o componente é reparado na falha. Caso o serviço de reparo não seja concluído dentro de um limite de tempo " $T$ " (variável de decisão), a substituição é feita. Caso contrário, o item reparado é posto em operação novamente;

- Reparo com contagem: as primeiras “ $K-I$ ” falhas de um item são minimamente reparadas, sendo este substituído na falha de número “ $K$ ” (variável de decisão).

Dentre as políticas que combinam ações preventivas e corretivas como variáveis de decisão, destaca-se a Substituição e Reparo com contagem. Nesse modelo, um item é substituído preventivamente após uma idade “ $T$ ” (variável de decisão) ou corretivamente após a falha de número “ $K$ ” (variável de decisão), sendo as primeiras “ $K-I$ ” falhas de um item minimamente reparadas (BEN-DAYA et al., 2016).

Atualmente, uma das mais importantes contribuições no âmbito da Manutenção Preventiva é a combinação de estratégias de monitoramento do estado operacional de um componente e substituição baseada na idade. Tal modelagem – comumente conhecida por “políticas híbridas” – permitem que ambas as ações sejam executadas, a partir de regras diferentes, em geral com o intuito de garantir uma maior segurança operacional na fase inicial e mais crítica de um equipamento. Exemplos de desenvolvimentos nessa área podem ser contemplados em Scarf e Cavalcante (2010) e Scarf e Cavalcante (2012) (ALMEIDA et al., 2015).

Em se tratando de uma abordagem a nível de produto, isto é, levando-se em consideração múltiplos componentes, uma classe de políticas bastante importante é aquela que considera a existência de oportunidades, também conhecidas como “políticas oportunísticas”. A maior particularidade desta classe é o fato de que, nestas, ações de manutenção para um determinado componente são influenciadas pelos estados operacionais dos demais itens no sistema (ALMEIDA et al., 2015).

Através dessa interligação, é possível obter melhores resultados em termos produtivos e econômicos do que restringindo-se apenas a um componente isolado, com maiores aproveitamentos em termos de disponibilidade e economias de escala, por exemplo. Uma situação clássica é tal que correções de falhas não críticas ao sistema são adiadas para coincidir com “janelas de oportunidade” causadas por quebras que não podem ser postergadas, acarretando num agendamento único para execução de atividades de manutenção em diversos componentes simultaneamente. O escopo dessa categoria, no entanto, não se restringe apenas a ações corretivas, podendo medidas preventivas serem escaladas em função de paradas obrigatórias corretivas ou, ainda, reparos e correções de falhas adiados em função de um calendário de ações preventivas inicialmente fixado, sendo ambas as situações capazes de trazer benefícios igualmente significantes (ALMEIDA et al., 2015). Desenvolvimentos nessa área podem ser conferidos em trabalhos tais como Cavalcante et al. (2018).

Adicionalmente, faz-se necessário destacar aqui o desenvolvimento na área da modelagem da qualidade em ações de manutenção preventiva, onde não só ações de inspeção podem apresentar natureza imperfeita – falando-se assim de falsos negativos e positivos – mas também são capazes de introduzir defeitos ou falhas nos componentes trabalhados, o que igualmente pode ser considerado para ações de substituição. Esta constitui atualmente uma das fronteiras de estudo no ramo das Políticas de Manutenção, com alguns avanços já consolidados em Scarf e Cavalcante (2012) e Cavalcante et al. (2018), estando outras contribuições em processo de pesquisa e desenvolvimento por parte do grupo RANDOM – PPGEP UFPE, entre outros.

### 2.1.3 Erro Humano

Conhecer alguns conceitos associados ao campo de estudo do Erro Humano se faz importante para o presente trabalho, visto que constitui uma importante esfera influenciadora da efetividade de políticas de manutenção. Para uma explanação introdutória mais sucinta e aplicada deste tema, utiliza-se como embasamento Ben-Daya et al. (2009) em sua abordagem de Erro e Confiabilidade Humana focada no contexto da Manutenção.

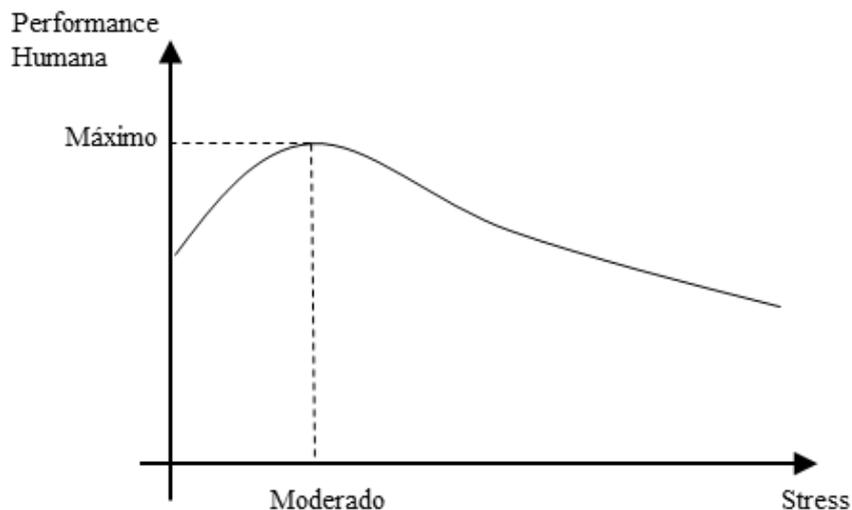
Sendo assim, define-se Erro Humano como a falha em desempenhar uma tarefa específica – ou a execução de uma ação proibida – por parte do homem, que pode resultar em perturbação das operações já agendadas ou em dano a equipamentos e propriedade. Trata-se também de Confiabilidade Humana, como sendo a probabilidade de uma atividade ser executada pelo homem de forma bem sucedida, em qualquer estágio do sistema produtivo, respeitando as restrições de tempo quando estas existirem. Complementar a estes conceitos, entende-se por Performance Humana a medida das funções e ações atribuídas ao homem sob condições específicas, bem como “*Man-function*” sendo uma função alocada ao elemento humano do sistema (BEN-DAYA et al., 2009).

De acordo com Beech et al. (1982), existem múltiplos estressores ocupacionais relacionados à performance e erro humano, podendo ser didaticamente categorizados em quatro grupos. Na categoria 1 concentram-se os fatores relacionados com carga de trabalho, que podem ser tanto de sobrecarga (requisitos do trabalho excedem a habilidade do operador em satisfazê-los) quanto de “baixa carga” (trabalho executado pelo indivíduo não lhe provê estímulo suficiente). Na segunda categoria agrupam-se estressores associados a problemas de frustração ocupacional, quando o trabalho inibe o alcance de certos objetivos ou alvos ambicionados pelo colaborador. Categoria 3 lida com mudanças ocupacionais que perturbam

os padrões psicológicos, comportamentais e cognitivos do operador, tais como relocação e reestruturação organizacional. Por fim, a última e quarta categoria acumula todos os elementos ainda não tratados, como condições adversas de trabalho, relacionamento com os colegas de operação, entre outros.

Importante observar que diversos autores ao longo do tempo têm estudado as relações entre stress e o nível de performance humana, em geral concluindo que o stress não é um estado completamente negativo. Em certa medida, este fator é necessário para incrementar a efetividade humana ao seu estado ótimo, sendo, porém, prejudicial tanto em níveis muito baixos (tarefa não desafiadora, não permitindo o alcance máximo de performance) quanto muito altos (baixa performance em função de aspectos psicológicos como medo e preocupação). De maneira geral, um nível “adequado” de stress pode ser definido como aquele suficiente para manter o indivíduo em estado de alerta, destacado na curva a seguir (BEN-DAYA et al., 2009):

Figura 2 - Curva de Efetividade da Performance Humana vs Stress



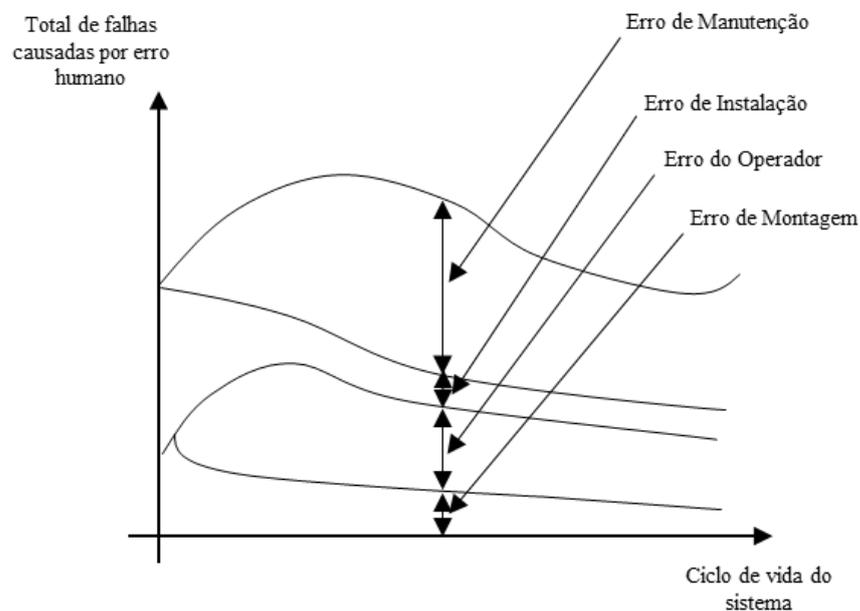
Fonte: Adaptado de Ben-Daya et al. (2009).

Em se tratando de ocorrências, existem múltiplas maneiras de como o erro humano pode se materializar no sistema, bem como diversas abordagens de análise por parte dos pesquisadores. Seguindo o estudo de Hammer (1980), as cinco formas mais aceitas são: realização de atividades que não deveriam ser executadas; tomada de decisão incorreta em resposta a um problema ou dificuldade; falha em reconhecer uma situação perigosa; falha em manter uma função determinada e má gestão do tempo/resposta inefetiva à uma situação de contingência.

Em se tratando da relação do erro humano com equipamentos, uma análise de Meister (1962) e Dhillon (1986) categorizam três classes de consequências, nas quais: a operação do equipamento é atrasada, mas não impedida; o atraso na operação do equipamento é insignificante; a operação do equipamento é impedida ou terminada. Ainda segundo os mesmos autores, seis classificações comuns para erro humano na indústria são relacionadas como: erros de projeto, inspeção, montagem, instalação, operador e manutenção.

A ocorrência de erros humanos na manutenção durante o ciclo de vida do sistema (desde sua inicialização até a finalização das atividades produtivas ou “*phase-out*”) pode ser analisada comparativamente com a manifestação de erros humanos em diversos outros tipos de *breakdowns* a partir do gráfico abaixo. Neste, observa-se que a Manutenção apresenta uma magnitude inicial comparável ao Erro do Operador (este ao longo da operação regular do sistema), aumentando sua suscetibilidade ao erro humano como causa de falhas com o passar do tempo de operação (CHRISTENSEN; HOWARD, 1981; HAMMER, 1980).

Figura 3 - Curva do Ciclo de Vida do sistema vs Total de falhas causadas por erro humano



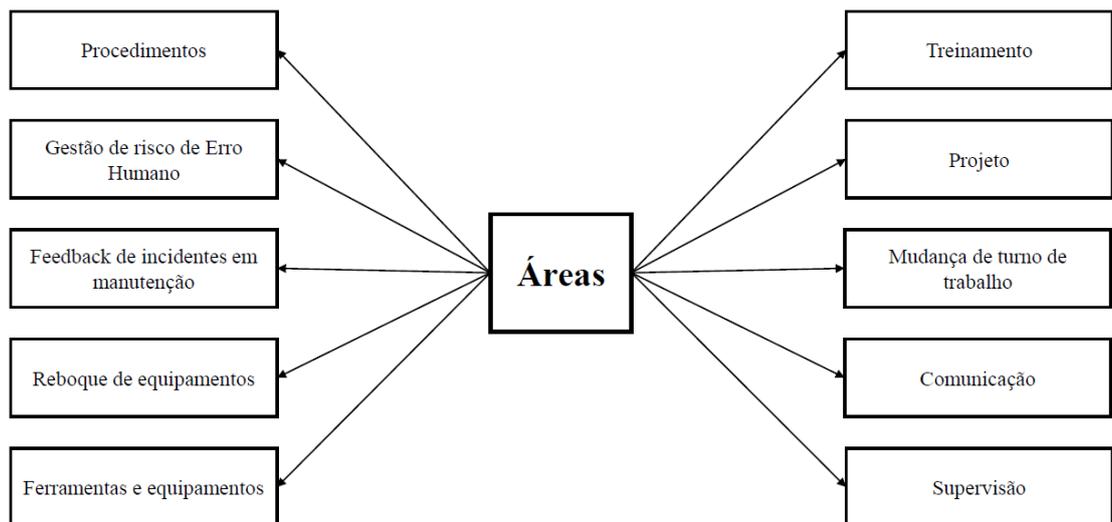
Fonte: Adaptado de Ben-Daya et al. (2009).

Existem várias razões para a ocorrência de erros humanos na manutenção. Dentre elas, algumas destacam-se, segundo as obras de Dhillon (1986) e Christensen e Howard (1981): elevada complexidade de tarefas, ferramentas inadequadas ou impróprias, equipamento mal projetado, procedimentos de manutenção mal redigidos, layout de trabalho ineficiente, manuais de manutenção desatualizados, pessoal de manutenção fatigado, más condições

ambientais de trabalho (luz, umidade, entre outros), treino e experiência inadequados. Focando nos aspectos de treinamento e experiência, um estudo concluiu que os colaboradores com maiores características de experiência, satisfação com o grupo de trabalho, estabilidade emocional, aptidão, moral e menores notificações de fadiga apresentavam melhores desempenhos na atividade de manutenção, com conseqüente menor índice de erro humano (SAUER et al., 1976; CHRISTENSEN e HOWARD, 1981).

Sucintamente, ao longo dos anos diversos profissionais trabalhando em manutenção desenvolveram *guidelines* para redução da ocorrência de erros humanos neste setor da operação. Abaixo são então representadas algumas das áreas em destaque para a redução de erros humanos em manutenção, nos mais diversos setores da Indústria (BEN-DAYA et al., 2009):

Figura 4 - Áreas abrangidas por guidelines para redução de erro humano em manutenção



Fonte: Adaptado de Ben-Daya *et al.*(2009)

#### 2.1.4 Eficácia x Eficiência x Efetividade

Dada a especificação de análise proposta neste trabalho, torna-se importante definir e entender os conceitos e diferenças entre as terminologias “Eficácia”, “Eficiência” e “Efetividade”, como forma de delimitar o escopo abordado e consolidar os objetivos a serem alcançados. Além disso, estabelecer tais definições e uniformizar a nomenclatura neste presente estudo permite solucionar algumas incertezas comuns a esse ramo da Manutenção, contribuindo também com a padronização da literatura pertinente.

Inicialmente, convém analisar esta terminologia à luz da literatura básica existente no ramo da Gestão e Administração. Na obra de Sobral e Peci (2008), observa-se que os termos “Eficácia” e “Eficiência” estabelecem relação com o presente estudo focalizado na Manutenção. Segundo esses autores, “Eficiência” se entende como a capacidade de realização de atividades organizacionais com alvo na minimização de recursos (ausência de desperdícios), preocupando-se assim com os meios (ênfase nos processos). Em contrapartida, a designação “Eficácia” é traduzida como a capacidade de realização de atividades organizacionais com foco em alcançar e maximizar os objetivos estabelecidos, preocupando-se por sua vez com os fins (ênfase nos resultados). Uma gestão de sucesso, portanto, deve visar obter tanto eficácia quanto eficiência em suas operações, o que neste presente trabalho pode ser traduzido pelo único termo “Efetividade”.

Devido à proposta do presente estudo de solucionar incertezas e combater vaguidades na terminologia empregada nesse ramo da Manutenção, convém analisar como se dispõe a literatura no que tange ao uso dos termos “Eficácia”, “Eficiência” e “Efetividade”, como forma de diferenciação e posicionamento adequado na literatura científica (em Língua portuguesa, prioritariamente). Nesse sentido, convém ressaltar que materiais relevantes a esta discussão não são diretamente encontrados sob aplicação ao contexto de Manutenção, sendo assim necessário consultar fontes desenvolvidas com enfoque em outras áreas do conhecimento e “transportar” os conceitos à temática proposta. Além disso, os trabalhos pertinentes consultados são integralmente redigidos na língua inglesa, requerendo assim uma adaptação ao português usual. Para vias de definição, não de ser naturalmente considerados os termos “*efficiency*” como “eficiência” e “*efficacy*” como “eficácia”. Ambas a nomenclaturas “*effectiveness*” e “*effectivity*” são aqui traduzidas como “efetividade” – apesar de algumas controvérsias acerca da formalidade do termo “*effectivity*” e assimilações de “*effectiveness*” ao que seria “eficácia” – uma vez que ambas advêm do termo “*effective*” (“efetivo”, na tradução portuguesa). Breves descrições destes termos com base em literatura diversificada são então estabelecidas conforme se segue:

- Eficácia: Comumente empregado no meio acadêmico relacionado à saúde, pode ser entendido como a capacidade de trazer o efeito desejado dentro de circunstâncias ideais (MARLEY, 2000). Numa visão organizacional, algo eficaz é tido como possuidor da qualidade que confere aos resultados produzidos o potencial de desenvolver uma consequência efetiva, de acordo com o planejado (ZIDANE e OLSSON, 2017). Na teoria de sistemas, é uma medida da extensão

com a qual o sistema contribui com o propósito de um sistema maior do qual ele faz parte (SKYTTNER, 2005).

- Eficiência: Conceito mais empregado no ramo acadêmico da física e engenharia, eficiência em geral é definida como sendo uma conexão entre meios e resultados (SÉNÉCHAL, 2018), produzindo um *output* de forma qualificada e competente através de uma transformação bem-sucedida (BARTUŠEVIČIENĖ e ŠAKALYTĖ, 2013; ZIDANE e OLSSON, 2017). Ainda, é vista como a capacidade de se gerar o melhor (ou o máximo) dos resultados com a menor quantidade de entrada possível – minimizando as perdas e desperdícios de algum insumo, por vezes sob a ótica da razão saídas-entradas (“fazer as coisas da melhor forma possível”) (SKYTTNER, 2005).
- Efetividade: Comumente recitada sob a forma de “fazer as coisas certas”, entende-se como uma conexão geral entre os objetivos traçados, os meios e os resultados, validados em termos da finalidade alcançada pelo sistema (SÉNÉCHAL, 2018). Sob o aspecto organizacional, é visto como medida de como um negócio atinge – através dos seus resultados obtidos – os objetivos definidos pela própria organização (BARTUŠEVIČIENĖ e ŠAKALYTĖ, 2013). De maneira direta, algo é efetivo quando cumpre com seu propósito estabelecido (ZIDANE e OLSSON, 2017).

Com base nas definições e observações desenvolvidas acima, conclui-se acerca das diferenças existentes no emprego – na literatura científica – dos termos de “eficácia”, “eficiência” e “efetividade”, o que destaca o cuidado necessário ao se definir o termo de titulação de um trabalho com escopo e objetivo direcionado a alguma dessas vertentes. Enquanto “eficácia” aparece como mais associado aos ramos da medicina e saúde, traduzindo um potencial em gerar resultados desejados a partir de evidências demonstradas em um ambiente controlado, “eficiência” apresenta uma abordagem mais processual e física, focando mais no desempenho das operações em detrimento do cumprimento de um propósito pré-estabelecido. Como forma de padronização e posicionamento, consolida-se a nomenclatura “efetividade” para o presente estudo envolvendo Políticas de Manutenção, com foco em avaliar o grau com que uma política cumpre com seus objetivos específicos definidos e/ou com o propósito geral de – em termos simples – otimizar as Ações de Manutenção ao longo do tempo de operação visando melhoria das atividades produtivas de uma organização.

#### 2.1.4.1 Apoio Multicritério à Decisão

Consolidar alguns conceitos da Teoria de Apoio Multicritério à Decisão se mostra fundamental dentro do escopo deste trabalho, sob vistas à proposta de um framework baseado na abordagem multidimensional a ser desenvolvida. Para este objetivo específico, é necessário conciliar diversas esferas de avaliação de efetividade em uma única métrica de mensuração, através da elaboração de uma metodologia que em muito se beneficia do campo do conhecimento que aborda Problemas de Decisão Multicritério. Longe da intenção de tratar todo o escopo desta Teoria, esta seção busca enfatizar conceitos elementares e específicos que servirão de fundamento para o desenvolvimento de um modelo de agregação multidimensional em tópicos futuros deste trabalho. Para tanto, concentram-se esforços sob o estudo de Almeida (2013) e Keeney (1992).

Métodos de Apoio Multicritério à Decisão (*Multicriteria Decision Aiding - MCDA*) surgem em função da identificação, dentro dos mais diversos contextos organizacionais e até pessoais, de problemas que se apresentam na forma de situações nas quais o indivíduo deve escolher entre pelos menos duas alternativas de ação, sendo esse processo conduzido pelo desejo de se atender a múltiplos “critérios” previamente estabelecidos – muitas vezes conflitantes entre si. Ressalta-se que alguns Métodos MCDA apresentam em sua base uma estrutura axiomática bem definida, que serve como apoio para a construção de modelos de decisão, sendo estes últimos devidamente adaptados ao contexto da problemática abordada (ALMEIDA, 2013). Num meio organizacional, o processo de decisão é geralmente conduzido por um analista que, articulando atores do processo – tais quais especialistas e *stakeholders* dentro e fora da organização – conduz um processo decisório que, como exemplo definido por Almeida (2013), é composto pelas seguintes fases:

- Inteligência: Monitoramento e identificação de situações de decisão;
- Desenho: Construção do modelo de decisão para resolver o problema;
- Escolha: Avaliação das alternativas e resolução da problemática;
- Revisão: Revisão das etapas anteriores;
- Implementação: Aplicação da solução recomendada.

Com a estrutura delineada acima, alguns comentários acerca de elementos do processo decisório se fazem relevantes. A começar com o problema de decisão identificado, este pode se manifestar como o desejo de escolha, classificação, ordenação ou descrição das alternativas possíveis, como destaca Roy (1996). Na construção de um modelo de decisão, torna-se

importante compreender cada alternativa como um conjunto (ou vetor) de consequências, que traduzem a manifestação da referida possível ação através dos diversos critérios elencados. Para tanto, convém a estruturação de uma matriz de consequências. De forma a trabalhar a problemática proposta, realiza-se uma tradução dessas diversas consequências em uma métrica padrão para mensuração, o que emprega procedimentos de avaliação intracritério (consequências distintas que se referem ao mesmo critério) e intercritério (conjunto de consequências dentro de um critério em relação a outros critérios). Através da construção de funções-valor compatibilizadoras, é possível então obter um parecer global acerca das possíveis ações a serem tomadas, que conduzem à escolha da melhor alternativa com base no conjunto de preferências do decisor. Etapas de revisão e implementação visam documentar o conhecimento adquirido no processo e operacionalizar a ação definida (ALMEIDA, 2013).

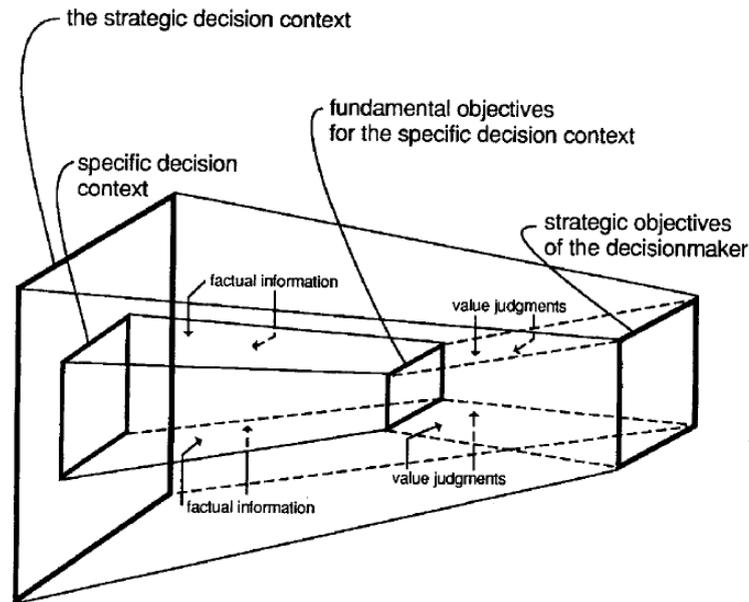
Keeney (1992) traz uma abordagem particular para o processo de decisão. Focando nos valores do decisor, propõe-se uma sequência de atividades voltadas à estruturação de objetivos (“afunilados” em estratégicos, fundamentais e objetivos-meio) e identificação dos respectivos contextos de decisão. Nesta teoria chamada *Value-focused Thinking*, uma maior relevância é dada na construção de alternativas a partir dos objetivos elencados, em contrapartida ao senso comum de “meramente” identificar alternativas já impostas por fatores externos. Uma representação comparativa dos processos então denominados *alternative-focused* e *value-focused thinking*, bem como um esquemático da relação entre objetivos e contextos de decisão, são trazidos abaixo (KEENEY, 1992):

Tabela 3 - Comparativo de sequências de atividades em um processo de decisão

<i>Alternative-focused thinking</i> para problemas de decisão	<i>Value-focused thinking</i> para oportunidades de decisão, antes da especificação de objetivos estratégicos
Reconhecer um problema de decisão	Identificar uma oportunidade de decisão
Identificar alternativas	Especificar valores
Especificar valores	Criar alternativas
Avaliar alternativas	Avaliar alternativas
Selecionar uma alternativa	Selecionar uma alternativa

Fonte: Adaptado de Keeney (1992).

Figura 5 - Framework Value-Focused Thinking



Fonte: Keeney (1992).

A escolha de um método para apoio multicritério à decisão envolve a ponderação de diversos elementos do contexto de decisão, havendo distintas formas de classificação para tais métodos. Numa visão mais enxuta, algumas destas classificações podem ser listadas conforme elucidada Almeida (2013):

- Natureza do conjunto de alternativas: Conjunto discreto, conjunto de alternativas contínuas;
- Relação com critérios: Critério único de síntese, Sobreclassificação, Interativos;
- Racionalidade do decisor: Compensatória, não compensatória.

Dentro dessas classificações, muitos Métodos MCDA podem ser enumerados, sendo alguns dos mais difundidos:

- Agregação aditiva;
- *Multiattribute Utility Theory* – MAUT;
- *Analytic Hierarchy Process* – AHP;
- *Simple Multi Attribute Rating Technique* – SMART;
- *Flexible and Interactive Tradeoff* - FITradeoff
- *Elimination and Choice Translating Algorithm* – ELECTRE;
- *Preference Ranking Organization Method of Enrichment Evaluation* – PROMETHEE.

Dentro do recorte proposto ao presente trabalho, faz-se interessante aprofundar em alguns elementos que constituem parte da estruturação de um modelo de decisão, sendo eles: Atributos/Critérios, Avaliação Intracritério e Avaliação Intercritério.

Atributos podem ser entendidos como os critérios que mensuram o desempenho de uma determinada alternativa – sob certos aspectos – geralmente refletindo objetivos fundamentais e julgamentos de valor por parte do decisor, segundo a proposta *Value-focused thinking* (KEENEY, 1992). Ainda dentro da formulação de Keeney (1992), distinguem-se três tipos principais de atributos: Naturais, Construídos e *Proxy*.

Atributos naturais são aqueles que, de maneira geral, possuem interpretação comum à maioria das pessoas e podem ser quantificados por métricas já bem convencionadas, como é o caso da unidade monetária ou de tempo. Caso não seja possível identificar um atributo natural para certo objetivo explícito pelo decisor, recorrem-se aos chamados Atributos Construídos. Como o próprio nome indica, este tipo de critério define-se pela necessidade de ser estruturado especificamente para o contexto de decisão em análise, diretamente definindo sua intencionalidade pelo objetivo fundamental que representa. Por vezes, a construção desse atributo baseia-se na ponderação de valores subjetivos e qualitativos, fazendo uso de escalas verbais ou numéricas que “carregam” menos informações, tais como aquelas ordinais e intervalares. Em último caso onde atributos naturais e construídos não se mostram viáveis, definem-se Atributos *Proxy*, como uma forma indireta de mensurar um objetivo do decisor. Destaca-se que um critério do tipo *proxy* em relação a um dado objetivo fundamental pode funcionar, em outro momento, como atributo natural para um objetivo-meio. De qualquer forma, em se tratando de um *proxy*, seu nível atribuído é valorado apenas dentro da limitada associação com seu respectivo objetivo fundamental (KEENEY, 1992).

Por Avaliação Intracritério, entende-se a avaliação da consequência trazida por cada alternativa em relação a um dado atributo específico, o que implica na construção de uma “função valor” que traduza diferentes consequências em “níveis” de uma mesma escala. Através desse procedimento, acaba-se por “converter” uma Matriz de Consequências em uma “Matriz de Decisão”, que esclarece o processo de tomada de decisão. Por vezes, é comum o uso de escalas lineares nas funções-valor para um determinado critério, recorrendo-se assim a diversos métodos de normalização de consequências.

Dando sequência, chega-se ao processo de Avaliação Intercritério, que consiste na combinação dos diferentes critérios elencados no problema de decisão. Para tanto, se faz necessário recorrer à Métodos MCDA no tocante à implementação de uma metodologia agregadora de atributos, que por sua vez pode acarretar a formação de um *score* global para

cada alternativa – compatibilizando-se as funções-valor em cada critério – ou a comparação dentre as diversas escolhas possíveis sem que haja atribuição de valor numérico global. Nesta etapa, é comum a divisão de Métodos MCDA pela racionalidade do decisor (compensatória ou não compensatória), visto que a definição do procedimento agregador de critérios em muito se baseia no conjunto de preferências deste decisor associado ao seu julgamento de valor sobre as consequências estabelecidas. Fala-se assim em métodos de elicitação de constantes de escala, a exemplo do *Trade-off* e *Swing* (ALMEIDA, 2013). Num breve comentário acerca desses dois procedimentos, apesar de ambos traduzirem valores numéricos para cada atributo como forma de posteriormente combinar consequências – já devidamente normalizadas – provenientes de diferentes critérios, há uma diferença crítica na representatividade do valor numérico da constante de escala. Enquanto o método *Trade-off* inclui implicitamente uma ponderação acerca da “amplitude de consequências”, através da análise de taxas de substituição em consequências de diferentes critérios, o método *Swing* traz de maneira mais simples apenas a noção de “grau de importância” de cada atributo na construção de suas constantes de escala.

## 2.2 Revisão da Literatura

Devido ao seu caráter amplo, o termo “Efetividade em Manutenção” tem sido usado frequentemente sob óticas distintas, sendo aplicável a múltiplas abordagens dentro da grande área da Manutenção. De maneira geral, o tema é convencionalmente tratado na atualidade em duas grandes vertentes: uma alinhada com a estratégia da função Manutenção, bem como suas interações dentro da organização como um todo, e outra relacionada à performance de atividades em manutenção.

Numa visão holística, Ben-Daya, Kumar e Murthy (2016) trabalham a efetividade da manutenção sob ambos os pontos de vista, organizacional e operacional, sendo este último direcionado às políticas de manutenção como um todo. Do ponto de vista organizacional, uma empresa voltada à manutenção é dita “efetiva” pela observação a alguns fatores, tais como: bom controle do trabalho de manutenção, manutenção proativa e coordenação efetiva com outras funções. Na visão operacional focada em políticas de manutenção, no entanto, a efetividade é observada através do grau com que a condição operacional de um componente/sistema é restaurada após a condução de uma ação de manutenção, o que é definido dentro de uma política através de abordagens como Manutenção Perfeita, Reparo Mínimo e Manutenção Imperfeita (podendo ser melhor ou pior do que o estado original do

sistema). Ben-Daya et al (2009) afirmam que a efetividade em manutenção compreende as abordagens de efetividade externa e interna à organização. Externamente, a efetividade está vinculada a aspectos como satisfação do consumidor, crescimento em *Market Share*, entre outros, enquanto internamente é marcada por fatores tais como uso eficaz e eficiente de recursos que facilitam a entrega das demandas em manutenção e serviços relacionados de forma efetiva.

Se tratando de uma visão organizacional, Kobbacy e Murthy (2008) citam a mensuração da efetividade da manutenção, juntamente com recursos gastos em manutenção, como algumas das principais questões enfrentadas pelas organizações dentro da Mensuração da Performance da Manutenção (MPM), ressaltando a dificuldade de se desenvolver e implementar sistemas apropriados em função das interações entre os diversos níveis organizacionais e formulações estratégicas diversas. Higgins e Mobley (2002) comentam a dependência da efetividade em manutenção com a interrelação existente nas atividades entre diversas plantas de uma indústria, refletindo acerca de alguns atributos necessários ao profissional supervisor destas operações.

Utilizando ainda de uma visão organizacional, Oliveira e Lopes (2019) propõem um modelo de maturidade para avaliar o estado atual da manutenção dentro de organizações e apontar direcionamentos visando aumento da efetividade, rumo ao conceito de “*world-class*”. Através de uma revisão da literatura relevante, dez fatores cruciais à gestão da manutenção e sua efetividade foram levantados, sendo estes:

- Cultura Organizacional;
- Política de Manutenção;
- Gestão da Performance;
- Análise de Falha;
- Planejamento e programação de atividades de Manutenção Preventiva;
- CMMS – *Computerized Maintenance Management System*;
- Gestão de inventário de peças sobressalentes;
- Padronização e controle de documentação;
- Gestão de Recursos Humanos;
- Gestão de Resultados (custos de manutenção e qualidade).

Para cada um desses fatores, comportamentos pertinentes ao conceito de “*world-class*” foram levantados e níveis de maturidade (partindo de 1 a 5) foram estabelecidos para fins de pesquisa. Au-Young et al (2016) estudou a influência do envolvimento de *stakeholders* na

gestão da manutenção e sua efetividade, concluindo com o apontamento de interrelações positivas entre estes fatores.

Numa abordagem estratégica, Pintelon e Pinjala (2006) defendem a ideia de que a efetividade da manutenção só pode ser observada através da identificação da estratégia de manutenção da organização, o que por sua vez deve estar intimamente relacionado com as demais estratégias de manufatura e de negócio. Além disso, tal efetividade estaria condicionada à capacidade de prover vantagem competitiva frente ao mercado. Neste mesmo trabalho, um paralelo é traçado em relação ao framework de quatro estágios da estratégia de produção modelado por Hayes e Wheelwright (1984), com a finalidade de assim consolidar um modelo de quatro estágios para efetividade da estratégia de manutenção, como se segue:

- Estágio 1 – Minimizar o impacto negativo da manutenção (“neutralidade interna”):  
Manutenção essencialmente reativa, dependendo de provedores externos para resolver problemas complexos. Objetivo principal de manter o equipamento em funcionamento até que uma nova decisão seja tomada pela alta gestão;
- Estágio 2 – Alcançar paridade/ neutralidade com competidores (“neutralidade externa”):  
Quantidade razoável de manutenção preventiva passa a ser realizada. Seguimento de práticas comuns na Indústria no que se refere a práticas de manutenção, equipamentos e *outsourcing*;
- Estágio 3 – Prover suporte às estratégias de negócio e manufatura (“suporte interno”):  
Manutenção proativa (preventiva e preditiva) constituem maior enfoque das atividades realizadas pelo setor. Considerações da Manutenção são incorporadas à estratégia global da organização, mas ainda não constituem vantagem competitiva;
- Estágio 4 - Promover vantagem competitiva em manutenção e manufatura (“suporte externo”):  
Manutenção é realizada segundo parâmetros “*world-class*”, geralmente integrada com a engenharia. Considerações feitas pela Manutenção são incorporadas em grandes decisões de investimento de capital, sendo vistas como fontes potenciais de vantagem competitiva.

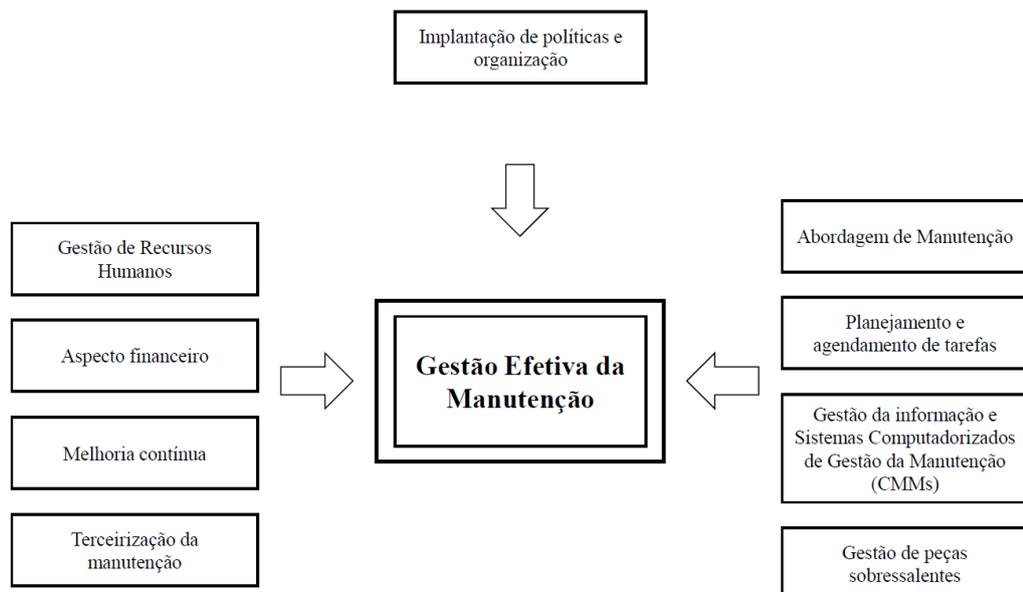
Adicionalmente, os autores trazem um sumário do que constituem alguns dos principais elementos de decisão estratégica na manutenção, que podem ser resumidos em:

- Elementos estruturais de decisão: capacidade, instalações e tecnologia de manutenção, integração vertical;

- Elementos de infraestrutura de decisão: políticas, conceitos, organização, planejamento, sistemas de controle, modificações, sistemas de recompensa e mensuração de performance de manutenção, recursos humanos.

Cholasuke et al (2004) estudou, através de questionário aplicado a empresas do Reino Unido, o status da Gestão da Manutenção em organizações de manufatura. Através de um estudo da literatura pertinente, chegou-se a nove fatores para mensuração da efetividade da manutenção, que se sobrepõem a alguns dos aspectos levantados no trabalho de Pintelon e Pinjala (2006) e são representados a seguir:

Figura 6 - Fatores para mensuração da efetividade da manutenção



Fonte: Adaptado de Cholasuke et al (2004).

Adicionalmente, Campbell e Jardine (2001) definem cinco níveis de excelência em manutenção, relacionados à sua efetividade. Em tradução livre e ordem crescente de efetividade, são estes:

1. Novato;
2. Fundação;
3. Aprendiz;
4. Avançado;
5. Mestre.

Passando-se para uma visão operacional, focada na performance das atividades de manutenção propriamente ditas, o escopo para efetividade em manutenção e suas aplicações são consideravelmente expandidos. Na visão de efetividade interna de Ben-Daya et al (2009), medidas de performance estão relacionadas com “fazer as coisas da maneira certa” e podem ser avaliadas em termos de efetividade de custos, produtividade, entre outros. Produtividade da manutenção é ressaltada como abrangendo eficácia e eficiência da manutenção, de modo que se esta for boa, a taxa de produção da organização, juntamente com seu tempo de disponibilidade, será também invariavelmente boa.

Referindo-se às atividades de manutenção, duas abordagens encontram-se particularmente relacionadas ao conceito de efetividade, a *Total Production Maintenance* (TPM) e a *Reliability-Centered Maintenance* (RCM). Ben-Daya (2000) define de maneira sucinta a TPM como uma abordagem para melhorar a efetividade das atividades de manutenção – compreendendo tanto os conceitos de eficácia quanto de eficiência – através da cooperação total dos colaboradores da organização com o estabelecimento de um sistema minucioso de Manutenção Preventiva. *Reliability-Centered Maintenance* (RCM), por sua vez, incorpora em seu escopo de implementação e aprimoramento contínuo indicadores de efetividade da manutenção, com finalidade de constantemente revisar, aprimorar e incrementar as atividades e análises de RCM (BLISCHKE e MURTHY, 2003).

Ainda tratando da execução das atividades características à manutenção, Crocker (1999) analisa em detalhe três grandes áreas comumente ignoradas durante o projeto e operação de um sistema: efetividade de inspeção, efetividade de reparo e falhas induzidas pela manutenção. Através de exemplos e casos reais de algumas indústrias tais como a automobilística e de aviação, o autor contribui para a literatura ao concluir que, apesar da dificuldade – e em alguns casos até impossibilidade – de se mensurar precisamente tais fenômenos, se faz crucial atentar para a existência desses três fatores, entendendo como estes podem impactar a efetividade da manutenção e, conseqüentemente, as operações do sistema como um todo.

Samat et al (2012), fundamentados na premissa de que os equipamentos constituem o fator mais significativo para a performance da manutenção, propõem um modelo de performance e confiabilidade (*Equipment Performance and Reability – EPR*) em quatro fases para avaliar o desempenho do maquinário de uma indústria, baseando-se em metodologias como análise Pareto, *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) e medidas de *Overall Equipment Effectiveness* (OEE). O resultado é interpretado em termos da efetividade da manutenção através de uma métrica segmentada em cinco “níveis de saúde”.

Sinha (2015) trabalha o tema de efetividade em manutenção através da relação entre abordagens de Gestão da Manutenção (MM) e conceitos de confiabilidade. Em se tratando deste último, o enfoque recai sobre conhecimentos acerca de como os equipamentos utilizados na organização são projetados, como é dado o seu funcionamento, quais são seus modos de falha e como estes podem ser remediados. Dessa forma, ações em Gestão da Manutenção (que definem qual modelo a ser adotado e quais seus parâmetros) devem levar em consideração fatores de falha devido à deterioração de materiais, defeitos de manufatura, baixa qualidade de reparo e condições anormais de operação. Um programa “acionável” é então desenvolvido para alcançar efetividade em Gestão da Manutenção, compreendendo 7 etapas: (1) Projetar um programa de manutenção de rotina (RMP), (2) Controlar as condições operacionais, (3) Determinar políticas de manutenção e substituição ótimas para equipamentos principais, (4) Controlar a qualidade das ações de manutenção, (5) Agendar as ações de manutenção, (6) Planejar recursos como peças sobressalentes e força de trabalho e (7) Gerir o conhecimento para manutenção.

Uma vertente que tem chamado atenção no ramo de efetividade em manutenção é o Erro Humano. Tema esse é tratado extensivamente por Reason e Hobbs (2003), abrangendo desde os fundamentos da performance humana até as variedades de erro, fatores provocantes de erros locais e problemas na área de Manutenção. Diretrizes são propostas para gerenciamento do erro visando a efetividade das operações em manutenção. Taylor (2000) realiza um estudo histórico associado a uma análise detalhada acerca da efetividade da Gestão dos Recursos de Manutenção sob a ótica da influência dos fatores humanos na segurança das operações no setor de aviação dos Estados Unidos. Aspectos como organização, colaboração, comunicação, resolução de problemas e tomada de decisão são tratados sob o foco de corrigir e evitar possíveis erros, garantindo a segurança e efetividade das operações de manutenção.

Produções relevantes ao eixo temático deste trabalho dizem respeito a aplicações dos conceitos de efetividade em manutenção nas mais diversas áreas operacionais da Indústria, somado ao desenvolvimento de novas ferramentas baseadas em tecnologia de ponta com a finalidade de otimizar as atividades de manutenção dentro de uma empresa, garantindo, assim, efetividade. Uma ressalva, no entanto, é feita no tocante ao escopo e ao modo como parte de tais estudos são conduzidos, por vezes aprofundando seus esforços em outras vertentes (metodológica, análise de caso) que não a análise da efetividade em si, sendo esta trazida usualmente de forma “tangente” como forma de validar o que foi proposto. Tal abordagem se manifesta também no emprego deliberado de termos abrangentes tais como “performance”, “eficácia” e “eficiência”, sem o cuidado de definir bem os conceitos envolvidos e assim

contribuir para a produção de uma literatura mais unificada nesse âmbito. Ainda assim, torna-se pertinente considerar tais produções em função dos *insights* que estas podem prover ao desenvolvimento da metodologia proposta no presente estudo.

Uma das principais aplicações para a qual o conceito de efetividade em manutenção tem atraído bastante atenção é o setor de plantas de geração energética a partir de processos nucleares (*nuclear power plants - NPP*), com relativa extensa literatura sendo trabalhada em torno dessa abordagem. Tratar de efetividade nesse contexto se faz primordial, visto que a manutenção é o meio primário de detectar e corrigir os efeitos da degradação em plantas energéticas nucleares (Scott et al, 1992). Ainda Scott et al (1992) advogam o impacto direto que a efetividade da manutenção tem na segurança operacional deste tipo de planta, propondo em seu trabalho uma análise dos programas de efetividade em manutenção de quatro organizações industriais e governamentais, incluindo-se instituições tais como a Força Aérea e Marinha dos Estados Unidos. Posteriormente, práticas de manutenção efetivas são identificadas e trazidas ao contexto de plantas nucleares comerciais, assistindo ao gerenciamento do envelhecimento (*aging*) dos seus equipamentos através de fatores como o desenvolvimento de programas de manutenção sistemáticos, envolvendo inspeções e coleta de dados da operação.

Ashar e Bagchi (1999) tratam da implementação da regra de manutenção 10 CFR 50.65 relativa aos “Requisitos para Monitoramento da Efetividade da Manutenção em Plantas Energéticas Nucleares” (tradução livre), regulamentada nos Estados Unidos, juntamente com sua utilidade em assegurar o cumprimento das funções desejadas a este tipo de operação. Martorell et al (1999) apresentam a fundação de uma metodologia para um programa de avaliação da manutenção baseada em indicadores próprios a esta operação, e ponderam sobre como tal sistemática pode ser utilizada para monitorar a efetividade da manutenção em plantas energéticas nucleares. Num escopo mais restrito, Jerng et al (2011) desenvolvem um programa processual para monitorar a efetividade das atividades de manutenção para reatores do tipo CANDU, em conformidade com a regulação 10 CFR 50.65, aplicando tal metodologia em uma planta real operada por uma empresa coreana.

Um trabalho bastante interessante ainda nesse contexto é o desenvolvido por Contri et al. (2012), tratando do sistema de Indicadores de Performance da Manutenção (MPI) consolidado pelo Instituto para Energia e Transporte (IET), um dos sete institutos do Centro de Pesquisa Conjunta (JRC) e diretoria da Comissão Europeia (EC). Nesse sistema de mensuração, 53 indicadores quantitativos operacionais específicos da manutenção são estabelecidos numa abordagem “*bottom-up*” para avaliar a performance e nível de excelência

da Função Manutenção, dentro de uma Usina Nuclear (NPP), com foco para monitoramento de fatores de risco (falando-se assim numa interface com a ferramenta *Risk Monitor*).

Em alguns aspectos, o sistema MPI proposto pode ser generalizado e aplicado para casos não relacionados à indústria nuclear, tornando seu *framework* em certa medida similar ao trabalho aqui proposto. No entanto, destacam-se diferenças no que tange ao direcionamento da avaliação de performance da manutenção, que inclui indicadores voltados principalmente para questões críticas e de segurança de usinas nucleares, bem como o fato da análise concentrar-se na Função Manutenção como um todo, não tratando de Políticas de Manutenção e suas comparações frente a contextos organizacionais diversos (políticas essas que, no presente trabalho, são avaliadas ainda partindo-se do seu estado de modelo teórico proposto na literatura, ainda não aplicado). Ademais, o sistema MPI foca em indicadores puramente quantitativos – que requerem um extenso conjunto de dados históricos e/ou metodologias de inferência para sua construção – fugindo ao presente escopo que envolve uma análise mais prática e qualitativa de questões subjetivas, a exemplo de problemas de gerenciamento, aspectos estratégicos da manutenção, fator humano e qualidade dos insumos utilizados. Um *framework* com agregação multidimensional inspirada em métodos multicritério, tal como se objetiva neste estudo, também não é desenvolvido por Contri et al. (2012) ou pelos institutos competentes ao sistema MPI.

Em outros estudos de caso, Tuyet e Chou (2019) propõem uma abordagem para determinar um cronograma ótimo para as atividades de manutenção em sistemas eólicos instalados em alto mar, visando assim melhorar a efetividade da manutenção em termos de custo. Andriulo et al (2015) estudam como definir uma abordagem de manutenção compatível com o suporte a Organizações de Alta Confiabilidade (*High Reliability Organizations – HRO*), avaliando diferentes políticas em termos de sua efetividade. Barberá et al (2014) aplicam a ferramenta GMM (*Graphical Analysis for Maintenance Management*) a duas bombas de fluidos com a intenção de avaliar deficiências particulares de cada equipamento e assim otimizar ações de manutenção para cada caso. Huynh et al (2017) avaliam índices diagnósticos e prognósticos da saúde de um sistema sujeito ao fenômeno de *stress corrosion cracking* no tocante aos impactos destes indicadores sobre a eficiência e robustez da tomada de decisão acerca das atividades de manutenção a serem conduzidas.

De igual modo, é relativamente extensa a literatura que trabalha a construção, aprimoramento e aplicação de novas ferramentas e tecnologias para otimização da manutenção, ainda que boa parte traga o aspecto da efetividade apenas como uma “validação”

de que a metodologia desenvolvida é de fato valiosa para utilização em certa prática Industrial ou contexto operacional.

Uma das principais linhas de trabalho nessa esfera é a utilização de Tecnologias da Informação e Computação em prol da efetividade da manutenção. Nesse sentido, Bengtsson e Lundström (2018) promovem uma reflexão acerca da efetividade em manutenção com o avanço da Indústria 4.0. Os autores defendem a visão de que a popularização de tecnologias de informação e computação tendem a causar um “excesso de confiança” na informatização da manutenção, deixando de se voltar esforços a técnicas básicas mais “primitivas” de gestão das atividades competentes, o que pode ser danoso à performance global dessa função. Sendo assim, defende-se a partir de um estudo de caso a importância de se conciliar novos desenvolvimentos tecnológicos – a exemplo de *big data* e Internet das Coisas (*IoT*) – com conceitos básicos de manutenção, tais como manutenção preventiva predeterminada e análise de falhas e causas-raiz, com a finalidade de se aumentar a efetividade total da manutenção.

Huby et al (2013) partem de experiências práticas em setores automobilístico, aeroespacial e de tecnologia em geral para constatar acerca da importância de se captar, processar e interrelacionar diversos tipos de dados acerca dos sistemas produtivos, nos seus mais diversos estágios de operação. Trazendo para o contexto da Manutenção, os autores propõem um número de diversas técnicas de exploração de dados durante a vida útil do equipamento (“*in-life*”) com a finalidade de aumentar a efetividade das atividades dessa função, focando em indicadores como *downtime* e custos, o que permite identificar má performance em reparos e assim incrementar a disponibilidade e confiabilidade de plataformas e sistemas. Kans (2008) trabalha a Tecnologia da Informação (TI) como importante ferramenta para alcançar eficiência e efetividade dentro da manutenção. Neste desenvolvimento, esforços são concentrados em construir um modelo conceitual para identificar os requisitos de TI em Gestão da Manutenção, visando uma correta aplicação da Tecnologia relevante ao cenário de planejamento, execução e acompanhamento das atividades pertinentes, sob vistas à concordância com o estado atual e estratégias adotadas em cada caso de estudo.

Antosz et al (2019) trazem o uso de sistemas inteligentes para apoiar o processo de decisão dentro do conceito de *Lean Maintenance*, o que permite aumentar a eficiência operacional da infraestrutura técnica da empresa e conseqüentemente incrementar a performance e efetividade dos processos de manutenção. Garcia et al (2006) utilizam um Sistema Inteligente para Manutenção Preditiva (SIMAP) – cujas especificações incluem o monitoramento dinâmico e contínuo de dados provenientes de diferentes sensores e fontes do

sistema – para planejamento e otimização de um calendário de manutenção efetivo para um componente motor de uma turbina eólica, levando-se em consideração particularidades de operação, características econômicas e técnicas.

Rana e Koroitama (2018) desenvolveram um *framework* para mensurar a efetividade de uma atividade de manutenção, nos seus aspectos mais subjetivos e imprecisos, concentrando-se no caso de um motor a diesel de uma planta energética. Para isso, uma abordagem de três etapas é operacionalizada. Numa fase preliminar, determinam-se os parâmetros-chave que podem ser utilizados para definir a performance da atividade de manutenção em estudo. Posteriormente, uma estimativa agregada de efetividade é obtida a partir de opiniões de especialistas, através do uso parcial de uma metodologia *fuzzy* para atingir um consenso entre as avaliações coletadas (*Fuzzy Multiple Attribute Decision Making – FMADM*). Finalmente, um sistema de inferência *neuro-fuzzy* (*Adaptive Neuro-fuzzy Inference System – ANFIS*) é treinado a partir das avaliações iniciais dos especialistas para mensurar de maneira mais “objetiva” a efetividade da determinada ação de manutenção. Outputs da ferramenta e dos colaboradores são comparados, concluindo positivamente acerca da possibilidade de substituir uma avaliação subjetiva por um resultado proveniente de um sistema automatizado baseado no monitoramento de parâmetros do equipamento, dentro de uma tolerância aceitável.

Em se tratando de novas metodologias teóricas aplicadas ao campo da Manutenção, com vistas à otimização das atividades e operações dessa função, alguns trabalhos são citados apenas como parte da diversificada literatura existente, sem a intenção de aprofundar os conceitos técnicos dos desenvolvimentos apresentados. Zhou et al (2011) abordam a problemática da limitação e incerteza do monitoramento do estado de componentes para propor um processo de decisão parcialmente observável semi-Markoviano, com o diferencial de abordar a variável tempo de maneira contínua, o que permite a otimização da efetividade da manutenção através da adoção de ações e períodos de espera que minimizem o custo de longo prazo por unidade de tempo e disponibilidade. Martorell et al. (2017) propõem um modelo para cálculo da probabilidade de falha sob demanda em equipamentos de segurança – sob a ótica de confiabilidade, disponibilidade e manutenibilidade (*RAM*), tratando especificamente dos efeitos de stress induzidos pela demanda, eficiência de teste e efetividade da manutenção, esta última incorporada através de modelos de manutenção imperfeita *PAR* (*Proportional Age Reduction*) e *PAS* (*Proportional Age Setback*).

Concluindo esta revisão, observa-se que a literatura atualmente desenvolvida no eixo temático da Efetividade em Manutenção é diversa e relativamente extensa. No entanto, devido

ao caráter abrangente do termo e suas inúmeras abordagens possíveis, o desenvolvimento científico nesse campo torna-se pulverizado, divergente e, em muitos casos, até controverso e desconexo. Carece-se, portanto, de uma metodologia que consiga alinhar todas as principais linhas de pesquisa atualmente em estudo, segundo as produções previamente citadas. Um entendimento estratégico e corporativo, mas ao mesmo tempo preciso na análise das operações e seus indicadores; uma abordagem teórica e técnica, mas ao mesmo tempo aplicável e moldável a múltiplos contextos organizacionais; um olhar atento para as principais problemáticas e soluções atuais na área da Manutenção, com vistas também às políticas atualmente consolidadas e em desenvolvimento. Conciliar todas essas dimensões em um único processo de avaliação, numa metodologia simples e de pronta aplicação na Indústria, constitui a inovação e o desafio do presente trabalho proposto.

### **3 MODELO MULTIDIMENSIONAL PARA AVALIAÇÃO DA EFETIVIDADE DE POLÍTICAS DE MANUTENÇÃO**

Partindo da definição proposta neste trabalho acerca da Efetividade como sendo “a capacidade de algo em satisfazer os objetivos inicialmente traçados, numa performance prática em contexto real não-simulado”, compreende-se que esta, do ponto de vista das políticas de manutenção, encontra-se intimamente associada aos objetivos próprios e específicos da Função Manutenção que coordena ações neste âmbito – delineados sob as perspectivas de aplicação operacional, facilidade de gerenciamento e, em última instância, com as metas estabelecidas pelo nível estratégico da organização. Sendo assim, conclui-se que não há uma “receita” única para avaliar a efetividade de uma Política de Manutenção, visto que políticas distintas podem apresentar-se como efetivas ou não a depender do contexto e objetivos traçados para seu desempenho.

Ainda assim, uma abordagem metodológica multidimensional – tal qual trazida nesta seção – tem a capacidade de elicitar as principais esferas que, de maneira geral, estão envolvidas numa análise de efetividade de Políticas de Manutenção, desdobrando-se em fatores-chave que por sua vez podem ou não ser considerados ou priorizados na análise de certa política, dado um contexto operacional específico. Este, portanto, constitui a principal contribuição do modelo extensivo aqui proposto: prover direcionamento acerca das principais dimensões em efetividade de políticas de manutenção, através de um conjunto de fatores seletivamente relevantes a um sistema abordado qualquer, mais especificamente traduzidos em medidas envolvendo ações propostas em uma política.

O Modelo Multidimensional para a Avaliação da Efetividade de Políticas de Manutenção aqui desenvolvido divide-se em quatro dimensões principais: Nível de Melhoria Operacional, Qualidade dos Recursos da Manutenção, Esforço Gerencial e Alinhamento Estratégico. É de se observar o caráter complementar das dimensões propostas, varrendo desde o nível operacional até o nível estratégico, da linha de produção até o planejamento organizacional de longo prazo. Dentro de cada dimensão, um conjunto de fatores-chave são levantados de modo a traduzir, de maneira mais segmentada, vertentes que se mostram fundamentais ou coadjuvantes na efetividade de uma certa política de manutenção, a depender do contexto e características do sistema em análise.

Enquanto a dimensão de Nível de Melhoria Operacional é desenhada em termos quantitativos, em última instância desdobrando-se em indicadores que apontam para uma avaliação da efetividade da política de manutenção considerada, as demais esferas de

avaliação modeladas desenvolvem-se através de uma metodologia qualitativa. Nestas últimas, algumas estruturas são empregadas com o intuito de facilitar o desenvolvimento de *insights* e relação de medidas efetivas empregadas pela política, designando-se assim “itens”, “aspectos” e “grupos de relevância”. A definição de “itens” é empregada dentro de cada fator-chave de uma dimensão de avaliação com o intuito de melhor direcionar o processo subjetivo de desenvolvimento dos chamados “aspectos” – positivos e negativos – que por sua vez são estabelecidos, ainda dentro do fator-chave, como forma de contabilizar mais diretamente a adoção ou negligência de ações efetivas em manutenção por parte da política considerada. “Grupos de relevância” são também elencados para cada fator-chave como conjuntos de sistemas operacionais (abrangendo o equipamento ou componente submetido à política em avaliação) que apresentam sensibilidade elevada a um conjunto de aspectos delineados, sendo assim uma forma de alertar acerca da importância e criticidade da consideração destes na análise sendo desempenhada. No caso específico da dimensão de Nível de Melhoria Operacional, devido à preferência por uma modelagem estritamente quantitativa sem o delineamento de “aspectos” qualitativos (a mensuração por via numérica se desenvolve de maneira bastante natural, diretamente associando-se ao fator-chave), grupos de relevância são tratados como intensificadores da importância de um determinado fator na avaliação integral da efetividade na respectiva dimensão.

Ressalta-se a elaboração, para cada Fator-chave em cada Dimensão de Efetividade, de figuras esquemáticas que resumem toda a discussão descritiva proposta nessa seção, enfatizando cada uma das estruturas previamente explicitadas (Indicadores, Itens, Aspectos e Grupos de Relevância), bem como suas relações entre si. Dessa forma, facilita-se a operacionalização do Modelo Multidimensional para Avaliação da Efetividade de Políticas de Manutenção na forma de *framework* prático, tal como proposto na seção seguinte deste trabalho.

### **3.1 Nível de Melhoria Operacional**

Numa primeira dimensão de Efetividade de Políticas de Manutenção, parte-se da premissa de que “para uma política de manutenção ser considerada efetiva, esta deve prover uma melhoria na performance das operações da organização”. Em decorrência dessa máxima, faz-se necessário mensurar o nível de melhoria operacional proporcionado pela política, para que sua efetividade possa ser avaliada. Quatro definições devem assim ser estabelecidas para que a presente análise se mostre coerente: qual a base de comparação de melhoria (“melhoria

em relação a quê?”), qual(is) o(s) alvo(s) para aplicação da melhoria (“melhoria de que operações?”), quais os fatores de melhoria (“melhoria no sentido de quê?”) e qual a natureza de mensuração sobre estes fatores (“melhoria mensurada em termos de quê?”)

Objetivando nesse estudo analisar a efetividade “absoluta” de uma política de manutenção, é proposto primariamente uma comparação entre a performance de uma política planejada selecionada para avaliação (com abordagens preditiva, preventiva, dentre outras) com uma base configurada como a não-adoção de um procedimento planejado para a manutenção (política de “deixar falhar” ou *breakdown maintenance*). Tomam-se como alvos primários as operações produtivas do sistema que permitem o desenvolvimento da cadeia de valor, uma vez que os objetivos traçados pela organização (através dos quais a efetividade de uma política é parametrizada), de maneira prioritária, focam a melhoria do desempenho de atividades que retornam lucros à empresa. Isso não impede, no entanto, que processos secundários sejam abordados dentro dessa avaliação, contanto que esses contribuam – ainda que indiretamente – com a melhoria produtiva do sistema. Este é o caso, por exemplo, de algumas ações de manutenção que, uma vez aprimoradas em sua execução, levam ao aumento do nível operacional produtivo da planta. Os fatores de melhorias se mostram bastante variados em função do sistema estudado, visto que, a depender da operação, algo pode ser considerado ou não como aperfeiçoamento relevante ao sistema (talvez até se desconfigurando enquanto melhoria). Uma mensuração de natureza quantitativa é recomendada como forma de definir índices precisos, neste momento, acerca da efetividade de uma política de manutenção, o que fornece ao mesmo tempo solidez a esta dimensão de avaliação e suporte às demais esferas ainda a serem desenvolvidas na Metodologia Multidimensional. Esta última interligação entre dimensões determinantes da efetividade global evidencia a constatação de que, embora desenvolvidas em caráter qualitativo, todas as outras esferas posteriormente propostas apresentam consequências mensuráveis capturadas pelo nível de melhoria que imprimem sobre a operação do sistema produtivo, tal como avaliado neste tópico.

No presente estudo, fatores-chave generalizados – aplicáveis a distintos modelos e contextos de operação – são estabelecidos, numa abordagem mensurável na forma de indicadores construídos sob fundamentação de métricas numéricas que, em geral, se encontram desenvolvidas na literatura referente à proposição das próprias políticas de manutenção, tornando a avaliação de melhoria operacional mais direta e acessível. Os fatores aqui analisados se dividem em Confiabilidade, Disponibilidade e Custos. Para cada fator, um ou mais indicadores são definidos como mensuradores do nível de melhoria operacional em

aspectos relevantes ao âmbito de análise, com grupos de relevância elencados à medida que sistemas mais sensíveis ao respectivo fator-chave são identificados.

### 3.1.1 Confiabilidade

A confiabilidade de um sistema pode ser entendida de forma simples e direta como a probabilidade deste, em dado momento de utilização, apresentar estado de funcionamento operacional, em contraste com uma configuração inativa (em estado de falha). Sendo assim, pode-se entender que uma operação confiável é aquela que tende a se manter em operação por mais tempo, experienciando de maneira reduzida fenômenos de falha de equipamento ou componente.

Do ponto de vista organizacional, uma operação confiável é essencial a todos os sistemas produtivos, uma vez que falhas no sistema acarretam paradas de produção, não-atendimento de demandas, custos adicionais e não-cumprimento de metas. Mais primordial é a confiabilidade para a operação de sistemas de segurança e alto risco, onde uma falha pode trazer consequências imensuráveis e duradouras – tal como a perda de vidas humanas. Esse fator também ganha destaque em sistemas que lidam com equipamentos de elevado nível de complexidade, custo ou exclusividade, sendo as falhas responsáveis por altos gastos em reparos e tempos prolongados de espera (inatividade) por componentes de reposição e/ou serviços de manutenção, serviços esses que em muitos casos precisam ser terceirizados a especialistas – muitas vezes estrangeiros com elevada dificuldade para contratação.

Numa análise de Melhoria Operacional, entende-se que para uma política de manutenção ser considerada efetiva sob o aspecto da confiabilidade de suas operações, deve ser minimizado de maneira geral o número de falhas que ocorrem no sistema. Uma métrica para mensuração desse fator amplamente utilizada na literatura é o “Tempo médio entre falhas” (*Mean Time Between Failures – MTBF*), que expressa em termos médios o tempo entre as falhas que o sistema experiencia durante a aplicação de uma política (sendo essa planejada ou não), na forma:

$$MTBF = \frac{T_{op}}{n_f}$$

Onde “ $T_{op}$ ” refere-se ao tempo total de operação do sistema/equipamento/componente – também contabilizando o tempo no qual o sistema permanece inativo sob manutenção – e

“ $n_f$ ” é o número de falhas que ocorreram neste intervalo de tempo. Em geral, tais dados são obtidos a partir de simulações numéricas iterativas com a execução de uma determinada política de manutenção, podendo ser também extraídos da operação real da política numa planta. Em algumas situações nas quais um horizonte temporal fixo é estabelecido para uma determinada operação – tal como uma produção sazonal ou temporária, o fator “tempo” perde sua utilidade de análise, sendo possível simplificar a métrica *MTBF* simplesmente pela razão entre os números de falhas “ $n_f$ ” da base comparativa e da política em avaliação.

Como primeiro indicador do fator-chave Confiabilidade, é formatado a **Razão de Tempo Médio Entre Falhas – RTMEF**, segundo definição própria deste trabalho:

$$RTMEF = \frac{MTBF(A)}{MTBF(B)}$$

Onde “A” refere-se à política sendo avaliada e “B” é a base comparativa, primariamente do tipo *breakdown maintenance*, segundo a metodologia proposta. Nesse indicador, valores mais elevados apontam para um maior intervalo médio entre falhas na política em análise, o que é mais favorável à efetividade desta em contraste com a base de comparação. Valores menores do que a unidade traduzem uma piora na confiabilidade do sistema quando adotada a política planejada em avaliação sobre a base comparativa. Observa-se que, para o caso de horizonte temporal fixo, a razão acima definida se resume apenas ao quociente invertido do número de falhas “ $n_f$ ” entre as duas políticas:

$$RTMEF = \frac{MTBF(A)}{MTBF(B)} = \frac{T_{op}/n_{fa}}{T_{op}/n_{fb}} = \frac{n_{fb}}{n_{fa}}$$

O que leva à recomendação simples e direta de extrair apenas o número total de falhas na operação durante a execução das duas políticas em comparação, visando o levantamento do indicador **RTMEF** para o mesmo horizonte temporal de produção.

Um caso particular onde a análise de confiabilidade a nível operacional se mostra crítica constitui os chamados “sistemas de prontidão”, como é o caso de equipamentos de emergência, reserva e/ou segurança. Trata-se de sistemas que não se encontram em funcionamento contínuo, sendo, porém, de grande interesse que sejam mantidos prontamente operacionais para quando uma demanda de ativação se mostrar desejada ou necessária.

Uma métrica simples e eficaz na mensuração da melhoria operacional trazida por uma política de manutenção neste aspecto é proposta através da análise, para um determinado horizonte temporal de aplicação da política, do percentual de ativações que se mostraram falhas – quando o equipamento/componente recebeu uma demanda de operação, mas se encontrava em estado de falha, não executando assim sua função designada (ou pelo menos não nos parâmetros aceitáveis estabelecidos). Matematicamente, a métrica pode ser desenvolvida da seguinte forma:

$$FP = \frac{\frac{n_f}{n_d} * 100}{T_{op}} = \frac{n_f}{n_d * T_{op}} * 100$$

Onde “FP” é a denominação “Falhas de Prontidão”, proposta neste trabalho sob inspiração em algumas definições propostas na literatura, tal qual introduzida por Alberti et al. (2018) e Alberti e Cavalcante (2020) acerca de demandas não atendidas. Definindo termos, “ $n_f$ ” corresponde ao número de solicitações falhas, num total de “ $n_d$ ” demandas dentro do horizonte temporal de operação “ $T_{op}$ ”. Como unidade dimensional, obtém-se através dessa métrica o percentual do total de demandas nas quais o componente se mostrou falho, por unidade de tempo (3%/ano, por exemplo). Dados para cálculo geralmente podem ser obtidos por simulação numérica ou desempenho real na operação de uma planta produtiva, não sendo observada uma formulação analítica específica a estas grandezas na literatura.

Através dessa métrica, que traduz uma visão sucinta acerca da confiabilidade de sistemas de prontidão, é possível designar um outro indicador para mensuração da melhoria do nível operacional de políticas de manutenção, sob forma de **Razão de Falhas de Prontidão – RFP**:

$$RFP = \frac{FP(A)}{FP(B)}$$

Seguindo a mesma formatação de análise anteriormente proposta, “A” e “B” referem-se às políticas avaliadas e de base comparativa, respectivamente. Valores menores do que a unidade para este indicador concluem acerca de uma maior efetividade para a política em avaliação, neste cenário apresentando menor percentual de demandas falhas por unidade de tempo. Ao se avaliar ambas as políticas para o mesmo intervalo temporal, novamente uma formatação simplificada é obtida:

$$RFP = \frac{FP(A)}{FP(B)} = \frac{\frac{n_{fa}}{n_{da}} * 100 / T_{op}}{\frac{n_{fb}}{n_{db}} * 100 / T_{op}} = \frac{n_{fa} * n_{db}}{n_{fb} * n_{da}}$$

Definida apenas pela razão dos produtos cruzados de demandas falhas e totais entre as duas políticas em comparação, o que reduz a captação de variáveis necessárias a um total de quatro contadores de eventos durante a operação do sistema sob as duas políticas distintas, permitindo assim o levantamento do indicador **RFP**.

Resumindo em forma estruturada, para uma análise de nível de melhoria operacional dentro do fator-chave de confiabilidade, tem-se identificados os seguintes grupos de relevância, nos quais a observância deste fator-chave torna-se crucial para uma correta avaliação da efetividade de uma política de manutenção:

- Sistemas de Segurança e Alto Risco;
- Sistemas Complexos, Custosos ou Exclusivos;
- Sistemas de Pronto-atendimento.

Indicadores neste fator-chave são então listados como:

- Razão de Tempo Médio Entre Falhas – RTMEF;
- Razão de Falhas de Pronto-atendimento – RFP.

### 3.1.2 Disponibilidade

O fator-chave da disponibilidade busca mensurar, com a adoção de uma determinada política de manutenção, o tempo no qual o equipamento ou componente encontra-se disponível para uso/produção/operação, muitas vezes representado em termos proporcionais ao tempo total de vigência da política.

De forma geral, a utilização desse fator como indicativo da melhoria operacional com a adoção de uma determinada política planejada se faz recomendada à toda avaliação de efetividade de políticas de manutenção. Em caráter especial, sistemas que necessitam de uma maior continuidade nas suas operações em função do produto produzido – a exemplo de companhias de saneamento e energia elétrica, que fornecem insumos essenciais à população – ou sofrem duras penalizações financeiras por unidade de tempo inativo – como perdas

acentuadas de demanda em decorrência de altas taxas regulares de produção – devem ponderar mais atentamente ao fator disponibilidade para entender se uma política implementada ou em vias de execução é de fato efetiva no contexto e objetivo para o qual o sistema é designado.

Numa primeira comparação com o caso-base de uma política puramente corretiva, uma grandeza elementar na literatura (BEN-DAYA et al., 2016, por exemplo) diz respeito à noção de *Uptime* ( $T_u$ ) como o tempo total durante a vigência da política no qual o sistema encontra-se em operação (produção efetiva) e *Downtime* ( $T_d$ ) como sendo o tempo complementar no qual o sistema está parado devido à uma falha ou intervenção (corretiva ou preventiva/preditiva). Ressalta-se que, na abordagem *single-component* aqui proposta, os tempos de *Uptime* e *Downtime* são definidos sob a ótica do único equipamento para o qual a política de manutenção tem sua melhoria operacional avaliada. Utilizando-se apenas destes conceitos, uma primeira métrica generalizada para mensuração de disponibilidade pode ser formulada a partir da razão:

$$UT = \frac{T_u}{T_d + T_u} = \frac{T_u}{Total\ time}$$

Onde “UT” refere-se a razão “*Uptime-Total time*”. De maneira geral, dados para o cálculo de indicadores relativos à disponibilidade normalmente são obtidos por vias de simulação numérica iterativa, mas também podem ser extraídos de dados reais da indústria. Não é comum encontrar na literatura modelos probabilísticos analíticos que desenvolvam arcabouço relativo à obtenção destes parâmetros.

De maneira similar, outras métricas comumente desenvolvidas neste âmbito são mais aplicáveis a uma comparação entre políticas de manutenção planejadas, não sendo muito útil à comparação com uma base puramente corretiva. É o caso da “Disponibilidade alcançada” (*Achieved Availability – Aa*), proposta por Koochaki et al. (2011). No seu modelo, utiliza-se o conceito de Tempo Médio entre Manutenção (*Mean Time Between Maintenance – MTBM*), definido como a média de tempo de operação entre a realização de serviços de manutenção – tanto corretivos quanto preventivos. Conjuntamente aos Tempos Médios de Manutenção Preventiva e Corretiva (*Mean Corrective Maintenance Time – MCMT* e *Mean Preventive Maintenance Time – MPMT*, respectivamente), formula-se a grandeza mensuradora na expressão:

$$\%Aa = \frac{MTBM}{MTBM + MCMT + MPMT} * 100$$

O que nada mais é do que a porcentagem de tempo efetivamente produtivo entre intervenções de manutenção, quando comparado com o tempo total da vigência da política de manutenção. De maneira sucinta, um indicador geral para melhoria operacional trazida por uma política de manutenção sob o fator-chave de disponibilidade pode ser construído na forma da **Razão de Disponibilidade – RD**, como se segue:

$$RD = \frac{Aa(A)}{Aa(B)} = \frac{UT(A)}{UT(B)}$$

Onde uma modelagem na forma de Disponibilidade Alcançada “Aa” se faz recomendável quando a política-base de comparação “B” também é do tipo planejada. Num contraste com uma base puramente corretiva, no entanto, a formulação generalizada da razão “UT” se mostra mais conveniente. Valores maiores para esta razão representam um maior intervalo de tempo no qual o equipamento ou componente se encontra em produção ou disponível a produzir sob a execução da política avaliada, sendo esta assim mais recomendável no tocante à sua efetividade. Ressalta-se que valores menores do que a unidade representam uma piora da condição operacional do sistema com a adoção da política em análise sobre a base comparativa.

Embora não constitua uma atividade produtiva em si, o desempenho das ações de manutenção traz impactos indiretos ao nível operacional do sistema, em particular na sua disponibilidade. Fala-se, portanto, da métrica já convencionada na literatura “Tempo Médio de Reparo” (*Mean Time To Repair – MTTR*) (BEN-DAYA et al., 2016), definida como o tempo médio de execução dos serviços de manutenção para uma determinada política aplicada sobre o sistema. Matematicamente, essa métrica é traduzida como:

$$MTTR = \frac{T_{man}}{n_{man}}$$

Onde “ $T_{man}$ ” refere-se ao tempo total gasto em atividades de manutenção (corretivas e preventivas) e “ $n_{man}$ ” é o número de intervenções de manutenção, ambos sob o mesmo horizonte temporal de aplicação da política. Mais uma vez, dados relativos a estes parâmetros

são obtidos através de simulações numéricas ou, caso a política já esteja sendo executada na organização, extraídos da própria planta em operação.

Considerar o tempo necessário para realização das atividades de manutenção em uma política se faz importante do ponto de vista da melhoria operacional pelo simples fato de que, quanto menor o tempo gasto com intervenções, maior a disponibilidade do equipamento para produzir efetivamente. Sendo assim, no mesmo padrão das formulações feitas até então, propõe-se um outro indicador para mensuração da melhoria do nível operacional – indiretamente afetada pelo tempo inativo sob cuidados de ações em manutenção, a **Razão de Tempo Médio de Reparo – RTMR**, na forma:

$$RTMR = \frac{MTTR(A)}{MTTR(B)}$$

Sendo a política em avaliação “A” favorecida numa avaliação de efetividade quando este indicador assume valores menores do que a unidade, o que representa uma melhor performance das ações de manutenção. Observa-se que na construção da métrica *MTTR* são consideradas ambas as ações de natureza corretiva e preventiva, de modo que, sob uma base comparativa do tipo “deixar falhar”, essa métrica deverá representar unicamente o tempo médio para correção de falhas – sendo este tipo de ação mais frequente quando não há ações preventivas planejadas – dentro do horizonte temporal estabelecido para análise.

Resumindo em forma estruturada, para uma análise de nível de melhoria operacional dentro do fator-chave de disponibilidade, tem-se identificados os seguintes grupos de relevância, nos quais a observância deste fator-chave torna-se crucial para uma correta avaliação da efetividade de uma política de manutenção:

- Sistemas com Continuidade Operacional Crítica;
- Sistemas com Penalização Crítica por Indisponibilidade;

Indicadores neste fator-chave são então listados como:

- Razão de Disponibilidade – RD;
- Razão de Tempo Médio de Reparo – RTMR.

### 3.1.3 Custos

Sucintamente, gastos operacionais podem ser classificados entre fixos e variáveis, sendo o primeiro relativo ao sistema produtivo como um todo – não afetado primariamente

pelo número de itens produzidos – e o segundo referindo-se mais diretamente a insumos de produção – estes determinados pelo montante que é fabricado. Na análise proposta, focam-se os custos fixos e relacionados à manutenção como alvos para mensuração de melhoria operacional, de acordo com a modelagem de custos convencionalmente proposta na literatura, considerando-se que os demais não são sensivelmente afetados pela adoção de distintas políticas de manutenção.

Custos constituem um fator comum a praticamente todos os sistemas produtivos. De mesma medida, é possível estabelecer que a vasta maioria desses sistemas objetivam a redução de custos durante seu ciclo de operação, maximizando o lucro total da organização com a produção, e que políticas de manutenção são elaboradas de forma a contribuir com este objetivo. No caso particular de empresas que não visam diretamente a lucratividade de suas atividades – tais como Organizações Não-Governamentais (ONG's), fundações filantrópicas e companhias públicas, estas ainda se beneficiam indiretamente pelo decréscimo dos custos incorridos na operação, através da liberação de maior capital para investimentos na geração de valor agregado.

A abordagem fundamental para construção de indicadores nesse âmbito é racionalizar valores entre a política em análise de efetividade e a base comparativa – em primeira instância do tipo *breakdown maintenance*. Para isso, define-se a métrica “Custo de longo prazo por unidade de tempo” (*Long-run cost per unit time -  $C_{\infty}$* ), dada como a razão entre o custo e a vida em um ciclo completo de uma política de manutenção. Matematicamente traduzindo:

$$C_{\infty} = \frac{E(U)}{E(V)}$$

Essa expressão, definida na proposição de diversas políticas de manutenção na literatura (Scarf et al., 2009, por exemplo), é naturalmente calculada em valores esperados através de modelos analíticos probabilísticos. Uma abordagem mais complexa considerando políticas preditivas pode ser observado na contribuição de You (2016), onde o custo de um sistema “*i*” ( $r_i$ ) é modelado como uma soma ponderada dos custos das ações corretivas e preventivas ( $\rho_{CM}$  e  $\rho_{PM}$ , respectivamente) pela probabilidade de operação em cada respectivo modo no tempo agendado para uma intervenção “*T*” ( $\Pr(T | t)$  para o modo natural preventivo), dividido pelo tempo total de operação estimado até a intervenção “*T*”. Para obtenção de tais parâmetros, subentende-se a captação de dados reais do sistema até um

momento “ $t$ ” através de instrumentos de monitoramento. Nessa construção, a métrica de custo é denotada como:

$$r_i(T | t) = \frac{\rho_{PM} \cdot \Pr(T | t) + \rho_{CM} \cdot [1 - \Pr(T | t)]}{t + E(T | t)}$$

Para casos onde a modelagem probabilística não seja possível, resultados de simulações numéricas iterativas também podem ser utilizados para levantar dados de custo e vida, como é proposto em Azadeh et al. (2015). Em seu modelo, grandezas de custo são descritas utilizando-se do conceito “Custo Unitário” por unidade de tempo ativo (*Unit Cost*), que nada mais é do que a razão do custo total da política em uma única iteração de simulação numérica (*Total Cost*) pelo tempo até a primeira falha do sistema (*TTFS – Time to Failure of the System*), que encerra a iteração. Consequentemente, a métrica final indicativa, “Custo Unitário Médio” (*AUC – Average Unit Cost*) é definida como a média entre todas as iterações realizadas (para “ $n$ ” iterações):

$$Unit\ cost = \frac{Total\ cost}{TTFS} \qquad AUC = \frac{\sum_{i=1}^n Unit\ Cost}{n}$$

No caso em que a política já se encontra em vigor na planta industrial, dados reais do sistema podem ser utilizados em substituição aos valores provenientes de simulações descritos acima.

Com tais métricas definidas, pode-se encontrar um primeiro indicador geral para a mensuração de custos dentro da dimensão de efetividade relativa ao Nível de Melhoria Operacional, a **Razão de Custos – RC**:

$$RC = \frac{C_{\infty}(A)}{C_{\infty}(B)} = \frac{r_i(A)}{r_i(B)} = \frac{AUC(A)}{AUC(B)}$$

Definida simplesmente pela razão da métrica de custos entre a política em análise (aqui designada pela letra “A”) e a política base (numa primeira análise do tipo puramente corretiva, representada pela letra “B”). O aspecto de custos é livre para variar entre as métricas mais convenientes para o caso em avaliação. Esse primeiro indicador permite visualizar de maneira simples o impacto da adoção de uma política de manutenção planejada nos custos operacionais de um sistema, sendo valores menores do que a unidade mais

favoráveis e recomendáveis à efetividade da política avaliada. Ressalta-se aqui a importância de adotar – para cada política em comparação – a razão de custos por unidade de tempo, especialmente no caso onde a base de comparação é do tipo puramente corretiva. Devido ao comportamento geral em políticas planejadas de gastar-se mais recursos em função do aumento do número de intervenções (além de corretivas implementam-se ações de caráter preditivo/preventivo), uma interpretação do real possível benefício dessa abordagem só se faz correta ao levar-se em conta os possíveis ganhos em vida útil do equipamento/componente pela adoção de medidas planejadas, quando em comparação com uma metodologia do tipo *breakdown maintenance*. Ainda assim, observa-se que em alguns casos a soma pura dos custos em cada política (“A” e “B”) pode ainda favorecer uma metodologia planejada, em função da prevenção de eventos mais dispendiosos relativos à falha do componente/equipamento.

Sob outro aspecto, um indicador adicional de melhoria operacional é proposto partindo-se da métrica “Custos por unidade de produção – CP”, dada como o quociente entre a soma total de custos em um ciclo de uma política de manutenção aplicada sobre determinado equipamento/componente,  $C(A)$ , e a produção total deste equipamento durante o mesmo intervalo de análise,  $P(A)$ . Matematicamente:

$$CP = \frac{C(A)}{P(A)}$$

Essa razão – já utilizada em metodologias voltadas a setores industriais específicos, a exemplo de Contri et al. (2012) – mostra-se interessante ao permitir uma associação direta entre custos de manutenção e produção, culminando no levantamento de um indicador aqui denominado como **Razão dos Custos com a Produção – RCP**:

$$RCP = \frac{CP(A)}{CP(B)}$$

Tal indicador permite avaliar a capacidade dos investimentos numa política de manutenção em melhorar o quadro geral de produção do sistema, sob o contraste da performance de uma outra abordagem qualquer – em primeira análise puramente corretiva. Novamente, aqui valores menores do que a unidade favorecem a efetividade da política planejada sendo avaliada.

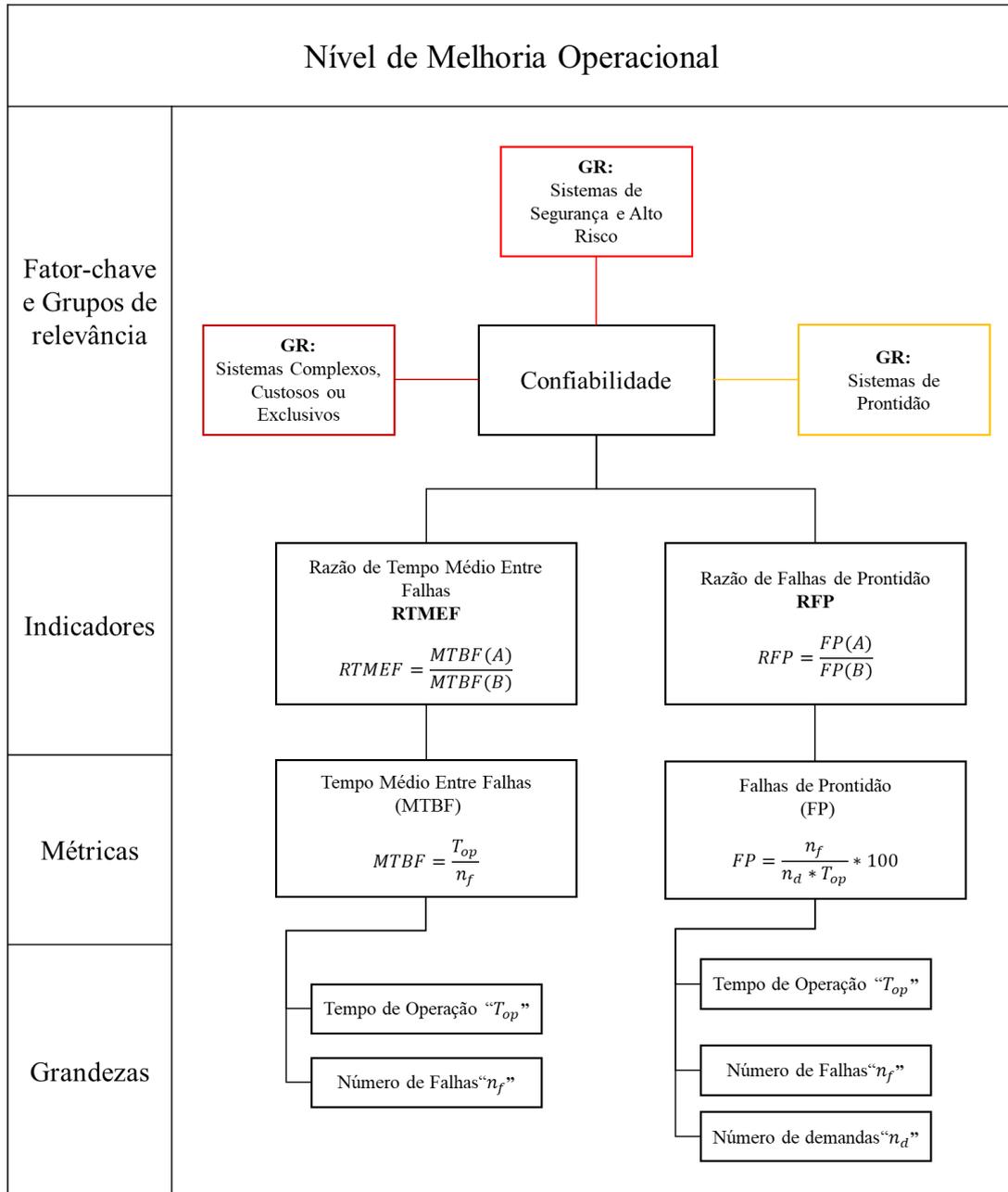
Resumindo em forma estruturada, para uma análise de nível de melhoria operacional dentro do fator-chave de custos, não se apontam diretamente grupos de relevância, tendo como princípio a noção de que o empenho sobre esse fator se constitui crítico – e básico – para qualquer sistema sobre o qual se deseja avaliar a efetividade. Indicadores neste âmbito são então listados como:

- Razão de Custos – RC;
- Razão dos Custos com a Produção – RCP

#### 3.1.4 Sumário Esquemático – Nível de Melhoria Operacional

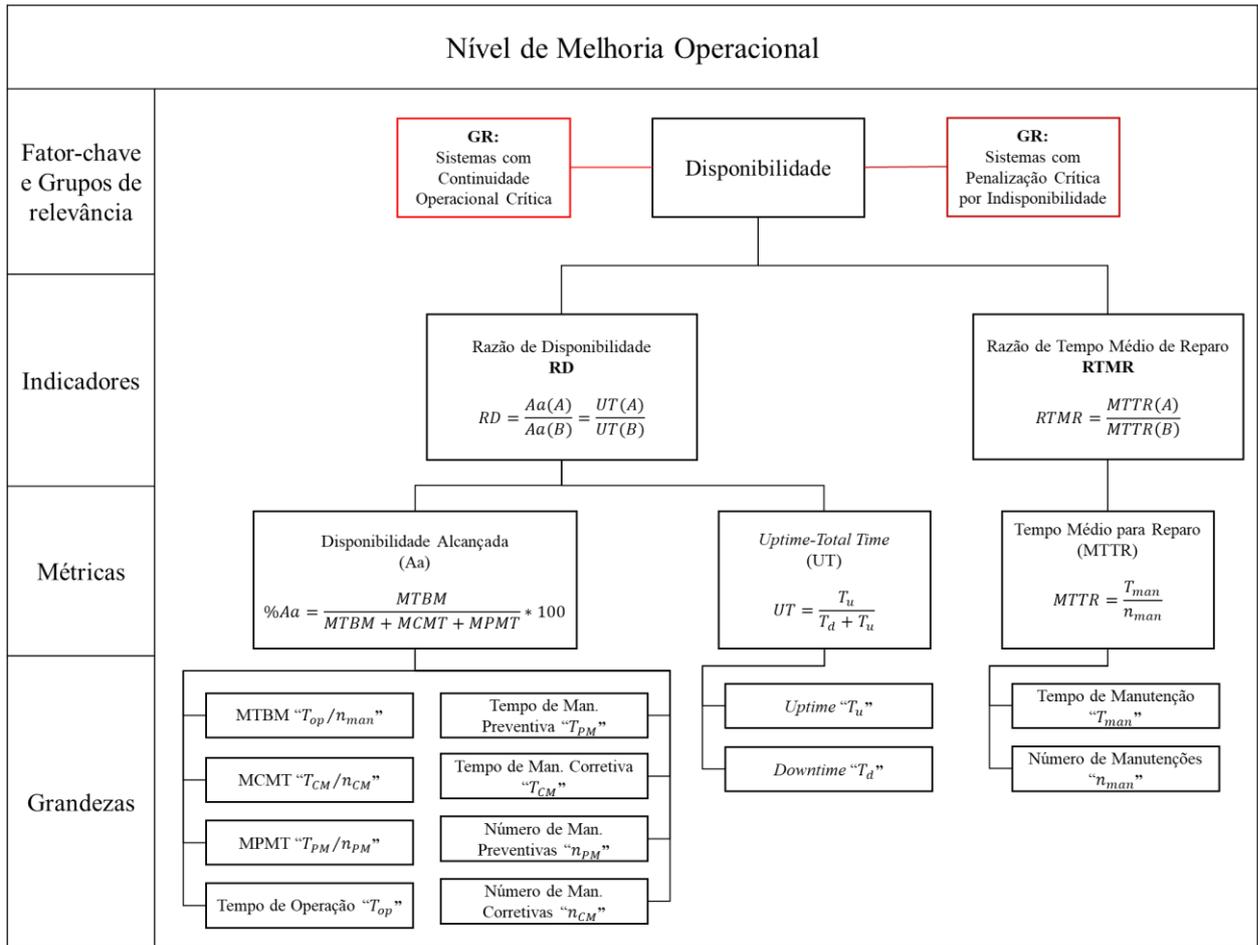
Abaixo são representados três quadros esquemáticos que sumarizam cada um dos fatores-chave aqui abordados na dimensão de Nível de Melhoria Operacional (Confiabilidade, Disponibilidade e Custos), como parte do Modelo Multidimensional para Avaliação da Efetividade de Políticas de Manutenção. Para cada figura relativa a um fator-chave, ligam-se indicadores previamente construídos ou incorporados nessa seção, como forma de mensurar a melhoria operacional a partir da adoção de uma dada política de manutenção. Para cálculo destes indicadores, um detalhamento em métricas e, em última instância, grandezas, é realizado e para cada indicador como forma de melhor orientar o procedimento. Grupos de Relevância, destacados em cores diversas, são ligados a Fatores-chave como forma de evidenciar certos contextos operacionais onde naturalmente se observa uma maior “dependência” a determinados Fatores como principais elementos para alavancagem da efetividade a partir da política de manutenção aplicada.

Figura 7 - Esquemático do fator-chave “Confiabilidade” para dimensão de “Nível de Melhoria Operacional”



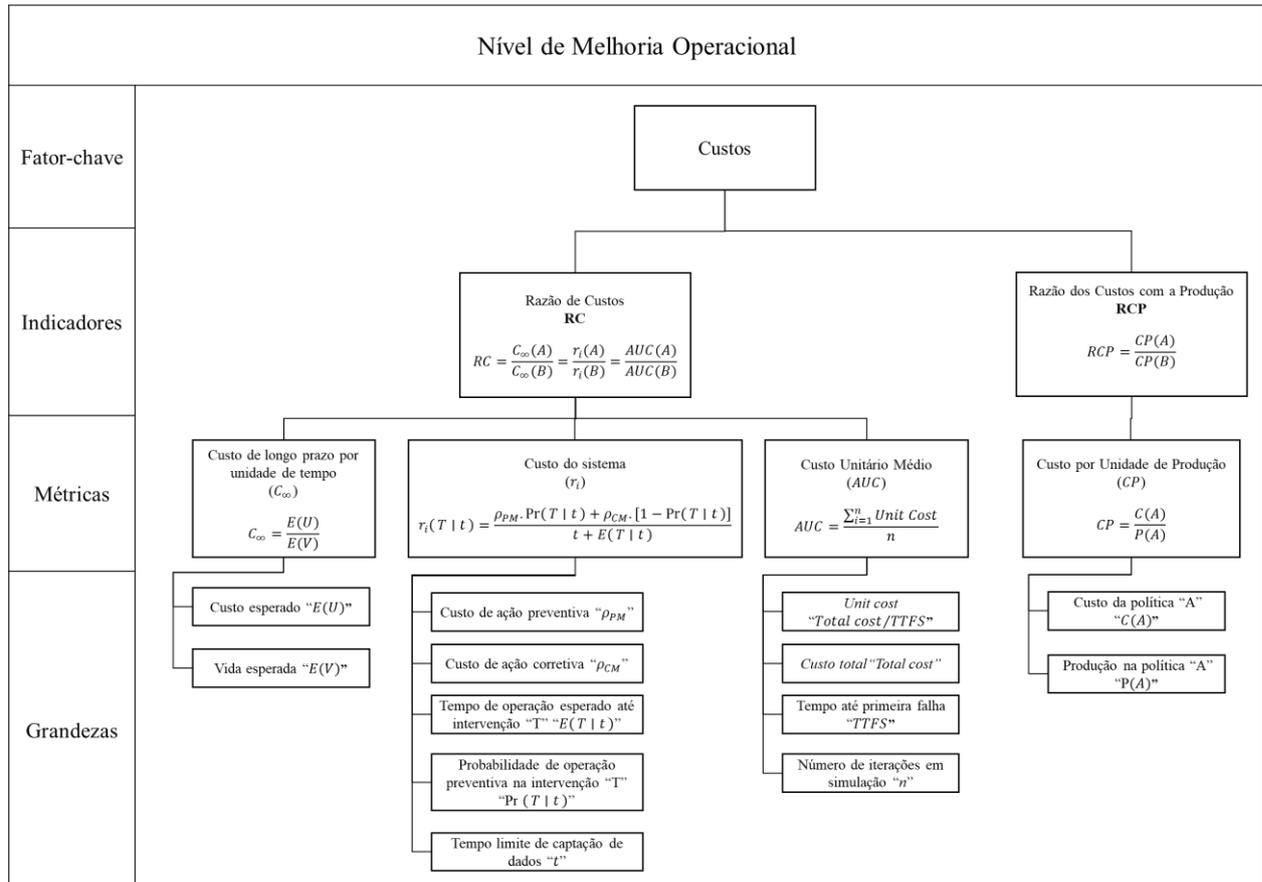
Fonte: O Autor (2020).

Figura 8 - Esquemático do fator-chave “Disponibilidade” para dimensão “Nível de Melhoria Operacional”



Fonte: O Autor (2020).

Figura 9 - Esquemático do fator-chave “Custos” para dimensão “Nível de Melhoria Operacional”



Fonte: O Autor (2020).

Como é possível observar, o desenvolvimento extensivo esquematicamente retratado evidencia a multiplicidade das opções elencadas para mensuração do nível de melhoria operacional, com modelagem específica a ser definida com base nas características da política de manutenção avaliada e contexto operacional sobre o qual é aplicada.

### 3.2 Qualidade dos Recursos de Manutenção

Numa segunda dimensão de análise, fala-se sobre a qualidade dos recursos de manutenção. Políticas de manutenção, desde sua fase de concepção teórica até implementação prática, adotam ações distintas para o gerenciamento de equipamentos, componentes ou sistemas, utilizando-se – numa aplicação real – de recursos que apresentam um certo nível de qualidade. Por “recursos”, entende-se todo o aparato – tangível ou não – que fornece suporte e viabiliza a execução de uma Ação de Manutenção. Numa avaliação de efetividade, para fins do presente estudo, uma política de manutenção dita efetiva é aquela que “apresenta qualidade

nos recursos necessários à execução de suas atividades competentes”, atividades estas que podem apresentar natureza planejada ou não (ações corretivas). A partir dessa máxima, avalia-se positivamente a efetividade pela adoção de recursos de qualidade, ou na melhoria da qualidade de recursos já adotados.

De maneira geral, a avaliação de qualidade aqui proposta torna-se mais assertiva em cenários onde a determinada política sob análise se encontra associada a um contexto prático de aplicação, sendo já preferencialmente executada em uma operação da Indústria. Isso porque, consolidado um caso real, torna-se mais evidente a qualidade dos recursos tal qual disponível na organização para uso em prol da política de manutenção. Para modelos teóricos ainda não experimentados empiricamente, a avaliação consiste na observação de aspectos relevantes – recomendações e contraindicações – para uma futura aplicação no setor/operação ao qual a política se direciona.

Determinar uma medida “tangível” para qualidade de maneira geral consiste um desafio atual enfrentado pela comunidade científica nos seus mais diversos ramos de desenvolvimento, fugindo assim ao escopo deste trabalho. Aqui, buscam-se desenvolver fatores-chave potencialmente relevantes – a depender do contexto de avaliação – na temática de qualidade dos recursos empregados em uma política de manutenção através da execução de suas ações pertinentes. O desenvolvimento nesta seção segue a proposta de dois grandes conjuntos de fatores-chave: Recursos Materiais e Não-Materiais. Em se tratando de recursos materiais, fatores são determinados como Peças Sobressalentes e Estrutura de Manutenção. Fatores de recursos não-materiais são designados por Condições Ambientais e Recursos Humanos. Para cada fator-chave, uma descrição inicial do recurso em análise é construída, seguido de uma discussão acerca do impacto da sua qualidade na efetividade global da política de manutenção e associação a aplicações onde se mostra mais ou menos evidente. Itens são considerados dentro de cada fator como forma de esclarecer o levantamento de aspectos para avaliação de efetividade. Finalmente, são formalizados os respectivos grupos de relevância, aos quais associam-se alguns dos aspectos listados de maneira estruturada.

### 3.2.1 Peças sobressalentes

Uma das principais Ações de Manutenção constitui a substituição de um item em uso no sistema por outro em inventário, o que pode ocorrer, a depender da política adotada, em função da idade do componente, seu estado operacional, dentre outros. Levanta-se, portanto, a questão de avaliar a qualidade do item utilizado para reposição, denominado genericamente

como “peça sobressalente”. A utilização de tais peças é quase que unânime no meio das políticas de manutenção propostas na literatura e em execução na Indústria, basicamente pelo fato de que a grande maioria dos componentes falha durante sua vida útil ou se torna inadequada para uso – de modo que sua substituição se torna mais vantajosa do que o retrabalho/conserto deste.

O impacto da qualidade das peças sobressalentes utilizadas como recurso primário nas ações de substituição sobre a efetividade global da política de manutenção pode alcançar níveis consideráveis, uma vez que peças de má qualidade acarretam transtornos de retrabalho, novas paradas para substituição, redução de disponibilidade e aumento nos custos operacionais (Scarf e Cavalcante, 2012; Scarf et al., 2009). O aspecto de retrabalho e novas paradas se destaca em sistemas onde a introdução de um sobressalente de má qualidade não desencadeia uma falha imediata, materializando-se como um defeito “adormecido” no equipamento ou uma falha não detectada em sistemas de prontidão que não são postos em uso imediatamente após substituição. Perda de disponibilidade se destaca em cenários onde o serviço de substituição é demorado, aumentando-se os custos associados caso o componente seja de alto valor de aquisição. Em situações mais extremas, a introdução de um componente de má qualidade pode acarretar falhas catastróficas ou escaláveis (como o caso de sistemas multicomponente com interdependência entre as partes) (MOUBRAY, 2001), culminando em possíveis perdas humanas e desastres ambientais de alta magnitude.

Trazendo para a avaliação de políticas de manutenção, é notório que, de maneira geral, a efetividade se faz reduzida com uma diminuição na qualidade das peças sobressalentes, quando intervenções de substituição fazem parte do conjunto de ações empregadas na manutenção. No entanto, existem medidas que podem agravar ou reduzir os impactos deste recurso sobre o desempenho da política. Em casos onde a qualidade é comprometida e os componentes apresentam baixo índice de criticidade, uma redução – na medida do possível – no número de intervenções do tipo substituição torna-se benéfico, optando mais intensamente por processos de restauração e conserto de componentes. Ainda neste cenário, uma política torna-se mais efetiva ao determinar mais criteriosamente o estado no qual o componente torna-se de fato impróprio para operação, podendo assim estender a vida útil – ainda que em estado defeituoso – de peças que não comprometam a segurança geral do sistema nem prejudicam sensivelmente a qualidade dos *outputs* produzidos.

Em lidando com componentes de criticidade no mínimo intermediária e/ou sistemas de prontidão que sofrem com a má qualidade de reposição, avalia-se uma maior efetividade nas políticas que adotam uma ação de teste operacional na ocasião da substituição de um

componente, podendo o nível de operação ser intensificado durante a verificação na forma de um *burn-in test*. Quando a criticidade é elevada e riscos em decorrência de uma má substituição devem ser evitados a todo custo, um sinal de maior efetividade da política adotada está associado ao incremento de ações de inspeção após a reposição, em frequência crescente com o aumento de criticidade da peça. Pode-se assim chegar ao estado de monitoramento contínuo do equipamento/componente/sistema, o que caracteriza uma configuração de *condition-based maintenance*. Nessa abordagem, fala-se na utilização de sistemas informatizados e tecnologias da informação para processamento em tempo real do estado do sistema, de modo a antever falhas causadas, em parte, pela substituição por um componente de má qualidade.

Ultrapassando a “fronteira” da operacionalização de políticas de manutenção, uma Gestão da Manutenção efetiva na qualidade de suas peças sobressalentes pode adotar medidas como a alteração do fornecedor de itens para reposição, dando-se prioridade ao chamado “fornecedor de equipamentos originais” (*Original Equipment Manufacturer – OEM*), bem como a adoção de múltiplos fornecedores distintos de modo a conferir uma maior heterogeneidade à qualidade desse recurso (Scarf et al., 2009; Scarf e Cavalcante, 2012).

É de se observar, no entanto, que alguns sistemas apresentam um único fornecedor viável de peças sobressalentes, que não o OEM certificado, como o caso de alguns componentes em equipamentos hospitalares. Tal situação acaba por gerar uma maior vulnerabilidade a trocas de má qualidade, visto que se consolida uma dependência exclusiva a um único canal de suprimento – que potencialmente não detém o *know-how* excelente para a confecção dos itens. Casos de quedas na qualidade das peças encaminhadas podem implicar em lotes inteiros comprometidos, não havendo outra fonte para obtenção de tais componentes. Adicionalmente, tornar o sistema “refém” a um único fornecedor pode afetar dimensões de custo e disponibilidade, em decorrência do procedimento de negociação com a terceira parte. Novamente, um esforço para restauração de componentes já sem condições operacionais com vistas à reintrodução na operação, associada a uma busca por novos fornecedores, pode contribuir para uma melhor efetividade das políticas de substituição limitadas a esse cenário.

Vulnerabilidade também é observada em casos onde se consolida uma sensibilidade elevada a uma possível má gestão de estoque de sobressalentes, interna à organização, o que pode comprometer o processo de manutenção por razões tais como impedimentos para a realização de substituições (burocracia, lentidão administrativa) e má estocagem de peças (degradação durante armazenamento). Como solução para melhoria de efetividade, é

fundamental a adoção de medidas para uma melhor gestão de estoque e condicionamento de peças sobressalentes.

Formalizando o desenvolvimento acima descrito, pode-se distinguir dois grupos de relevância (GR) que compreendem sistemas mais sensíveis à influência da qualidade dos recursos de peças sobressalentes sobre a efetividade da política de manutenção avaliada:

- Sistemas de Alta Criticidade;
- Sistemas de Vulnerabilidade a Fornecedor e Estoques.

Resumindo em modo estruturado, alguns aspectos positivos na efetividade de políticas de manutenção no tocante à qualidade do recurso de peças sobressalentes são (foco adicional a grupos de relevância são destacados entre parênteses):

- Maior foco em operações de restauração e conserto, em detrimento de intervenções de substituição (GR: Vulnerabilidade a Fornecedor e Estoques);
- Maior permissividade na operação de itens em estado defeituoso não-prejudicial ao sistema;
- Teste operacional imediatamente após intervenções de substituição, em possível procedimento de *burn-in test* (GR: Alta criticidade);
- Maior número de inspeções após substituição, intensificando-se até o estado de monitoramento contínuo (GR: Criticidade Alta);
- Adoção de sistemas informatizados de acompanhamento contínuo e processamento do estado operacional, na forma de *Condition-based monitoring* (GR: Alta Criticidade);
- Alteração do fornecedor de peças sobressalentes (preferência ao OEM), com possível adoção de múltiplos fornecedores (GR: Vulnerabilidade a Fornecedor e Estoques);
- Melhoria na Gestão de Estoques e condições de armazenagem de peças (GR: Vulnerabilidade a Fornecedor e Estoques).

Por consequência, aspectos negativos neste mesmo âmbito podem ser imediatamente identificados com base na forma negativa das medidas listadas acima. Tais aspectos positivos e negativos podem ainda ser interpretados como recomendações e contraindicações na avaliação da potencial efetividade de uma política teórica ainda não experimentada empiricamente em determinado setor/operação.

### 3.2.2 Estrutura de Manutenção

Todas as Ações de Manutenção estabelecidas por uma política requerem um meio para serem implementadas no sistema. Por meio de implementação entendem-se aqueles não-físicos – ditos parte da “infraestrutura de manutenção”, tais como o serviço do mantenedor – e físicos, como é o caso da “estrutura de manutenção”, exemplificada pelos equipamentos, instalações e insumos materiais utilizados para realizar o serviço de manutenção. Convém ressaltar que não constitui como parte do presente escopo, para fins desta metodologia, tratar das instalações físicas que são necessárias para realização da manutenção quando eventos inesperados acontecem na operação, sendo este cenário abordado no fator-chave relativo às condições ambientais em manutenção.

Estabelecendo o foco nos elementos materiais tangíveis que atuam como “habilitadores” das ações de manutenção, sob condições habituais de operação, torna-se importante avaliar a efetividade de uma política frente à qualidade desses elementos tais quais disponíveis na organização/departamento de manutenção. A utilização de itens tangíveis na execução das ações propostas é universal em se tratando de sistemas produtivos e/ou mecânicos, uma vez que são raras – e em geral não recomendáveis – as exceções onde apenas um mantenedor e o componente sobressalente são necessários para implementar toda uma política de manutenção. De maneira sucinta, itens de estrutura da manutenção podem ser discernidos em instalações físicas, equipamento de uso pessoal, ferramentas e insumos de manutenção.

Apesar da grande maioria destes elementos serem considerados como “garantidos” no meio industrial, seu impacto na operação pode ser considerável. A começar de uma esfera mais individual, a má qualidade de instrumentos tais como equipamentos de uso pessoal e ferramentas pode comprometer a segurança – até a vida – do mantenedor, possivelmente também se desdobrando em danos ao equipamento/componente em manutenção. A utilização de insumos consumíveis, apesar de não constituir um elemento “estrutural” propriamente dito, também é um ferramental que permite a condução de ações de manutenção, a exemplo de líquidos para limpeza de superfícies e itens de sinalização/fixação temporária. Sua má qualidade novamente se traduz em possíveis erros durante as intervenções, que podem causar desde prejuízos econômicos até acidentes catastróficos atrelados a riscos à vida humana. Numa escala física ampliada, instalações requerem qualidade e confiabilidade durante sua utilização, sob pena de colapsar totalmente o equipamento em manutenção ou ainda gerar

eventos em cadeia que comprometem não só a segurança do mantenedor, mas potencialmente da organização inteira acrescidos os seus entornos físicos.

Políticas de manutenção que se alicerçam sobre elementos estruturais de má qualidade inevitavelmente não alcançam os propósitos para os quais foram intencionadas – ao menos no nível de performance desejado, o que acaba por comprometer sua efetividade. Sendo assim, algumas colocações podem servir de guia para a avaliação de uma política proposta, sob vistas da qualidade da estrutura de manutenção, considerando sempre o contexto prático de aplicação.

Em situações em que o componente ou equipamento mantido apresenta elevado nível de complexidade ou especificidade – como é o caso de componentes pequenos, com geometria/funcionamento complexo, de custo elevado e/ou difícil obtenção – é fundamental garantir boa qualidade ferramental. Para tanto, observam-se aspectos estruturais das ferramentas, sua condição superficial, possíveis contaminações, entre outros. Garantir uma boa manutenção do aparato de manutenção, em conjunto com um armazenamento seguro e apropriado, é fundamental para indiretamente assegurar a efetividade das ações propostas e reduzir possíveis danos ao componente, bem como a ocorrência de acidentes. Uma atenção adequada para o estado dos elementos consumíveis também é chave para a efetividade na sua utilização, sob forma de checagem dos prazos de validade, condições de estocagem e emprego operacional, em alguns casos preferindo-se por um teste prévio com amostras aleatoriamente selecionadas. Imperativa é a questão da disponibilidade do correto/apropriado aparato ferramental, o que pode ser assegurado pela manutenção de níveis adequados em estoques de ferramentas e itens consumíveis.

Situações tais onde o equipamento sob manutenção opera em condições adversas à homeostase do mantenedor, é imprescindível garantir a existência e a propriedade dos equipamentos de uso pessoal relativos à segurança. Sistemas que trabalham em extremas configurações de temperatura, pressão, corrente elétrica, altitude, dentre outros, podem ocasionar graves acidentes quando em contato com corpos não corretamente assegurados, o que pode não só inutilizar o componente e ferramental envolvidos, mas também comprometer a segurança local. Aspectos que promovem efetividade neste âmbito estão ligados a boas práticas de conservação e manutenção dos equipamentos de uso pessoal, bem como a constante revisão de suas propriedades, atenção à prazos de validade e correto emprego durante o serviço de manutenção.

Dentro do contexto de sistemas em grande escala física, o aspecto estrutural se torna crítico. Não só se faz desejável uma instalação capaz de manter estável o ambiente “ideal”

para a realização dos procedimentos previstos na política de manutenção, como esta deve também fornecer apoio aos demais elementos estruturais e humanos que desempenham a ação de manutenção. Sistemas sensíveis são aqueles que apresentam difícil acesso ao equipamento/componente a ser mantido, a exemplo de grandes altitudes, devendo as instalações prover suporte para que o mantenedor e seu ferramental alcancem adequadamente o componente a ser trabalhado, mantendo-se em condições seguras e estáveis para um bom desempenho. Ações de revisão periódica do estado estrutural das instalações, bem como testes prévios e sistemas de redundância para vias de segurança são indicativos de uma boa qualidade estrutural para habilitação de ações de manutenção efetivas.

Formalizando o desenvolvimento acima descrito, podem-se distinguir grupos de relevância (GR) que compreendem sistemas mais sensíveis à influência da qualidade da estrutura de manutenção sobre a efetividade da política de manutenção avaliada:

- Sistemas de Alta Complexidade e Especificidade;
- Sistemas sob Condições Adversas de Operação;
- Sistemas de Difícil Acesso.

Resumindo em modo estruturado, alguns aspectos positivos na efetividade de políticas de manutenção no tocante à qualidade do recurso de estrutura de manutenção são (foco adicional a grupos de relevância são destacados entre parênteses):

- Observação e constante revisão do estado operacional de ferramentas, equipamentos de uso pessoal e insumos consumíveis (GR: Alta Complexidade e Especificidade; GR: Condições Adversas de Operação);
- Armazenagem adequada de ferramentas, equipamentos de uso pessoal e insumos consumíveis (GR: Alta Complexidade e Especificidade; GR: Condições Adversas de Operação);
- Manutenção periódica de ferramentas (GR: Alta Complexidade e Especificidade);
- Substituição periódica de equipamentos de uso pessoal e insumos consumíveis, de acordo com especificações recomendadas (GR: Condições Adversas de Operação);
- Correta utilização de ferramentas e equipamentos de uso pessoal (GR: Alta Complexidade e Especificidade; GR: Condições Adversas de Operação);
- Testes operacionais prévios com insumos consumíveis e instalações físicas, especialmente após tempo de inatividade (GR: Difícil Acesso);
- Inspeção periódica da condição estrutural de instalações (GR: Difícil Acesso);

- Instalação de dispositivos redundantes de segurança (GR: Difícil Acesso; GR: Condições Adversas de Operação).

Por consequência, aspectos negativos neste mesmo âmbito podem ser imediatamente identificados com base na forma negativa das medidas listadas acima.

### 3.2.3 Condições Ambientais

Alternando para um foco não-material, convém tratar do fator que constitui as condições ambientais que envolvem a execução de uma política de manutenção, também em alguns contextos denominado “condições de operação”. Por condições ambientais, entende-se o conjunto de fatores intangíveis e externos ao sistema produtivo que influenciam na condução da sua política de manutenção designada. Por vezes, esse fator-chave pode se relacionar com fatores humanos, na forma de um “gatilho” para que o mantenedor implemente um erro sobre o sistema durante a execução de alguma ação de manutenção. De igual maneira, correlação pode ser estabelecida com o item de estrutura de manutenção, visto que a minimização dos efeitos ambientais sobre a política eventualmente envolve a construção de alguma estrutura física de proteção e/ou segurança. Destaca-se, no entanto, que não compreende o escopo desta presente análise avaliar programas de melhoria estrutural dentro da organização. Foco aqui é estabelecido sobre a política de manutenção e seu “leque” de capacidades para lidar de maneira efetiva com possíveis aspectos ambientais externos que possam se manifestar na operação, em caráter predominantemente temporário (oscilação de condições de operação na forma de “eventos externos” acometidos sobre o sistema).

Condições ambientais são elementos transversais a todos os sistemas produtivos, uma vez que todos os equipamentos e componentes estão imersos em um ambiente físico que atua de modo particular sobre cada contexto operacional. Muitos desses sistemas comunicam-se mais diretamente com tais elementos externos – dependem das condições ambientais para que uma política de manutenção possa ser executada de maneira efetiva. Nesse sentido, fatores intangíveis ambientais caracterizam-se positivamente como recursos de manutenção, cuja qualidade influenciará na efetividade de uma política designada à determinada operação. Itens relevantes trazidos para esta discussão podem ser explicitados por condições climáticas, recursos naturais e meio de operação. Alguns *insights* acerca dos potenciais impactos dessas condições ambientais são extraídos da análise de Sinha (2015) e estudos atualmente em desenvolvimento pelo grupo RANDOM (CAVALCANTE et al., 2020, no prelo).

Condições climáticas em caráter adverso podem comprometer a efetividade de uma política de manutenção. Além de prejudicar o procedimento de intervenções, dando margem à introdução de defeitos ou danos ao componente, um período estendido de mal tempo (padrões imprevisíveis de chuva, umidade, temperatura) pode comprometer o calendário de ações planejadas, colocando em risco a confiabilidade do sistema e potencialmente gerando custos adicionais. Quando uso de recursos naturais é necessário durante a execução de etapas de uma política de manutenção, a exemplo de recursos hídricos, vento, eletricidade, entre outros, a qualidade desses *inputs* pode impossibilitar que a ação seja completada – ao menos da maneira apropriada, o que implica na possibilidade de danos ao equipamento, custos adicionais de retrabalho ou reagendamentos de atividades. Quando tais recursos oscilam de maneira imprevista durante uma intervenção, aspectos críticos de segurança dos operadores e integridade do sistema como um todo podem estar comprometidos. Finalmente, por meio de operação designa-se o conjunto de elementos ambientais nos entornos próximos ao local específico onde as atividades relativas à política de manutenção são desempenhadas sobre um equipamento ou componente. Nesse sentido, a efetividade das ações propostas pode ser comprometida por eventos tais como poeira provinda de equipamentos ou estações de operação vizinhas, vibração excessiva, entre outros.

De acordo com os elementos previamente explicitados e escopo determinado para esta análise, algumas reflexões no tocante à implementação de ações numa política de manutenção sob vistas ao fator da qualidade das condições ambientais podem ser conduzidas com a finalidade de atestar a efetividade da política proposta a um contexto operacional específico.

Primeiramente, deve-se atentar que o aspecto climático não apresenta relevância considerável para uma extensa classe de equipamentos e componentes, que operam em condições rigidamente controladas. Ainda assim, existem sistemas que trabalham em ambientes ao menos parcialmente abertos, além de outros que necessitam de deslocamento a grandes áreas abertas para realização de procedimentos de manutenção, tais quais limpeza ou testes. Nesses cenários onde uma importância adicional é conferida à “qualidade” climática durante a ação de manutenção planejada, políticas são avaliadas favoravelmente em termos de efetividade ao empregarem esforço contínuo para o monitoramento meteorológico do tempo nos dias em que atividades ao ar livre serão conduzidas, antevendo possíveis contratemplos já no momento de estabelecer os agendamentos próprios à política de manutenção. No caso de eventos climáticos se manifestarem de modo imprevisto, entra em foco o caráter flexibilidade da política adotada, traduzido em termos de quão rápido/fácil é o reagendamento de atividades e quão reduzida é a probabilidade de que eventos danosos possam vir a ocorrer no

futuro em função do imprevisto ocorrido. Fala-se assim da existência de um calendário que considere possíveis cenários de indisponibilidade imediata para a realização de atividades planejadas, bem como a elaboração de um plano de contingência voltado à operação prolongada sem possibilidade temporária de intervenções preventivas. Políticas que desenvolvem a abordagem de reagendamento das atividades de manutenção com implicações em alteração de calendário geralmente a considera sob a definição de *defaults*, sendo analisado como a performance do programa torna-se afetada por tais contratempos que interferem no planejamento pré-estabelecido (ALOTAIBI et al., 2020).

O uso recursos naturais, por sua vez, é inerente a sistemas que requerem limpeza com grandes quantidades de água, ventilação natural para secagem de algum procedimento de manutenção (pintura, por exemplo), corrente elétrica para execução de intervenções (como no caso de uso de equipamentos energizados), dentre outros. Mais uma vez, medidas efetivas que devem estar incorporadas à política de manutenção constituem um prévio monitoramento do abastecimento da rede para os períodos em que ações de manutenção estão planejadas. Em caráter de emergência, o fator flexibilidade igualmente garante efetividade ao permitir adequado funcionamento em períodos temporários de contingência. Uso de procedimentos e ferramental alternativos para a condução das ações – ainda que em caráter provisório a ser revisado posteriormente quando as condições ideais forem reestabelecidas, sem que haja comprometimento do componente mantido, também é algo considerável ao adotar uma política de manutenção para contextos onde o fornecimento de recursos naturais pode mostrar-se incerto (uso de equipamentos alternativos não elétricos para uma intervenção de manutenção preventiva, por exemplo, bem como o uso de quantidades reduzidas de água que possam ser armazenadas previamente).

Finalmente, há de ser considerado em especial o meio de operação durante a manutenção de equipamentos que não apresentam possibilidade de deslocamento, e geralmente se encontram em meio a outras estações de trabalho. Para evitar contaminações por partículas e outras substâncias durante procedimentos de desmontagem e manutenção interna, por exemplo, uma política efetiva deve considerar o uso de ferramental específico para proteção de seções sensíveis à interação com o meio de operação. Para casos onde tal aparato é inviável, o agendamento de ações de manutenção para momentos de parada programada do sistema ou o aproveitamento de oportunidades que surgem durante a operação (Cavalcante et al., 2018) podem permitir que a manutenção seja conduzida em condições ambientais mais favoráveis, o que aumenta a “qualidade” deste recurso e confere efetividade à política adotada.

De semelhante modo ao desenvolvido nos fatores-chave anteriores, pode-se formalizar grupos de relevância (GR) que compreendem sistemas mais sensíveis à influência da qualidade das condições ambientais sobre a efetividade da política de manutenção avaliada:

- Sistemas com Manutenção ao Ar Livre;
- Sistemas com Manutenção Consumidora de Recursos Naturais;
- Sistemas com Manutenção no Local de Operação.

Resumindo em modo estruturado, alguns aspectos positivos na efetividade de políticas de manutenção no tocante à qualidade do recurso de condições ambientais são (foco adicional a grupos de relevância são destacados entre parênteses):

- Monitoramento meteorológico para períodos de agendamento de ações de manutenção (GR: Manutenção ao ar livre);
- Flexibilidade para reagendamentos de atividades de manutenção (GR: Manutenção ao Ar Livre; GR: Manutenção Consumidora de Recursos Naturais);
- Plano de contingência voltado à operação prolongada sem manutenção preventiva (GR: Manutenção ao Ar Livre; GR: Manutenção Consumidora de Recursos Naturais);
- Monitoramento do abastecimento da rede para períodos de agendamento de ações de manutenção (GR: Manutenção Consumidora de Recursos Naturais);
- Procedimentos alternativos de manutenção com baixo uso de recursos naturais (GR: Manutenção Consumidora de Recursos Naturais);
- Proteção de seções sensíveis à interação com o meio de operação durante manutenção (GR: Manutenção Fixa);
- Agendamento de ações de manutenção para momentos de parada programada do sistema (GR: Manutenção Fixa);
- Aproveitamento de oportunidades de parada do sistema para realização de manutenção (GR: Manutenção Fixa).

Por consequência, aspectos negativos neste mesmo âmbito podem ser imediatamente identificados com base na forma negativa das medidas listadas acima.

#### 3.2.4 Recursos Humanos

Em último fator-chave para a dimensão de Qualidade de Recursos de Manutenção, fala-se dos Recursos Humanos. Para fins desta discussão, define-se recursos humanos como todos os serviços e procedimentos prestados por indivíduos em prol da execução de uma

determinada política de manutenção. É bem sabido que diversos fatores listados previamente nesta dimensão de avaliação conectam-se com o elemento humano, como forma de potencializar ou neutralizar a performance do mantenedor da manutenção. No entanto, foco aqui é dado a aspectos ainda não mencionados e inerentes ao fator humano, que interferem na qualidade do serviço prestado.

A utilização do elemento “homem” nas atividades de manutenção ainda é a prática comum na mais ampla gama de sistemas produtivos. Apesar da crescente automação e digitalização dos processos relativos às ações de manutenção, grande maioria ainda depende do trabalho humano para a conclusão das atividades planejadas sobre um equipamento ou componente, bem como para tomada de decisão acerca de procedimentos a serem conduzidos. Diretamente, a qualidade deste serviço prestado pode comprometer uma determinada intervenção ou conjunto de operações em manutenção, o que acaba por “minar” a efetividade da política como um todo. De maneira sucinta, dividem-se itens de essencial relevância para a análise de efetividade neste âmbito em: Capacitação, Motivação e Erro Intrínseco Humano. Apesar dos dois primeiros temas influenciarem o erro humano, dedica-se uma seção exclusiva para este último com maior enfoque sob aspectos intrinsecamente internos ao indivíduo que impactam a qualidade do serviço executado, não relacionado a princípio com fatores de capacitação ou motivação deste operador. *Insights* nesta discussão são obtidos a partir dos trabalhos percorridos na seção de Fundamentação Teórica do presente estudo, bem como nos desenvolvimentos de Mkilania (2016) e Sinha (2015).

Capacitação constitui um item primordial para a boa qualidade nas intervenções humanas em manutenção. Para capacitar um mantenedor, preocupa-se não só com sua qualificação técnica/teórica e experiência profissional, mas também se acrescenta uma correta orientação acerca dos procedimentos e operações específicas que devem ser conduzidas. Protocolos de execução de atividades dúbios ou mal formulados podem acarretar más interpretações acerca da intervenção a ser realizada, traduzindo-se em erros de julgamento ou introdução de defeitos sobre o sistema a ser mantido. De igual modo, a falta de treinamento do mantenedor é capaz de comprometer a qualidade do serviço, o que também prejudica a efetividade da política de manutenção. Sob a ótica da motivação, de maneira sucinta, observa-se que elementos tais como a falta de incentivos e benefícios laborais, atividades repetitivas, “desânimo” pelo trabalho e até mesmo uma cultura organizacional debilitada podem impactar negativamente a efetividade global de uma política, ao reduzir sensivelmente a performance do indivíduo responsável por determinada atividade e assim minimizar a qualidade do serviço prestado. Por último, aspectos intrínsecos à vertente do Erro Humano também se manifestam

sobre a qualidade deste recurso de manutenção. Por mais capacitado e motivado que esteja, o colaborador submetido a condições adversas de estresse fragmentação de atenção pode involuntariamente introduzir erros no sistema ao executar intervenções, comprometendo a efetividade do programa. Autores, a exemplo de Okoh e Haugen (2013), defendem a ideia de que é na execução da atividade de manutenção que o sistema se torna vulnerável a falhas. Em suma, enquanto houver o elemento humano presente em uma política de manutenção, existe a possibilidade intrínseca de que algum erro ocorra durante a execução das mais diversas atividades, o que caracteriza um comprometimento “inato” da qualidade do recurso humano.

Seguindo a metodologia padrão para avaliação de políticas de manutenção, alguns aspectos são colocados como medidas sinalizadoras da efetividade em termos de qualidade dos recursos humanos, como discorrido a seguir.

Inicialmente, é conveniente elencar algumas medidas que, uma vez empregadas com foco na capacitação do operador da manutenção, sinalizam uma maior qualidade deste enquanto recurso útil para a implementação da política determinada. Dentre elas, destaca-se a realização contínua de treinamentos e reciclagens de conhecimento, bem como a rotação de atividades desempenhadas pelo mantenedor com o intuito de ampliar sua experiência técnica. No que tange à documentação e orientação específica para intervenções próprias à política de manutenção, uma maior efetividade se confere a partir da constante atualização dos protocolos técnicos, tendo vista possíveis alterações na operação do componente/equipamento em manutenção. Além disso, uma revisão constante dos procedimentos elencados por uma equipe supervisora também favorece a melhoria do serviço prestado. Para casos onde as atividades de manutenção ganham caráter mais complexo e multifacetado, a divisão de tarefas entre equipes de operadores especializados contribui para o aumento da efetividade global da política de manutenção.

Com vias para motivação do colaborador que operacionaliza a política de manutenção, encontra-se dentro das capacidades do programa adotado a promoção da rotação do trabalho entre diversas operações/intervenções distintas, com o intuito de “reanimar” o interesse do operador acerca da execução da manutenção. Isso torna-se particularmente interessante para sistemas com atividades repetitivas de manutenção, como é o exemplo de inspeções visuais constantes sobre o mesmo tipo de componente em um sistema produtivo. Caso o corpo de trabalho para implementação de uma determinada política seja consolidado enquanto equipe, o estabelecimento de atividades não propriamente relacionadas à manutenção de um equipamento, tais como reuniões e comemorações de metas atingidas, favorece o fortalecimento da cultura organizacional interna em prol do desempenho humano.

Finalmente, tratar do erro intrinsecamente humano dentro de políticas efetivas envolve o estabelecimento de revisões após a condução de atividades manuais de manutenção sobre o equipamento, preferivelmente por um outro mantenedor/equipe que não aquele que desempenhou a atividade no primeiro momento. Novamente, uma boa divisão do trabalho acrescida da regularidade no agendamento de serviços também atua minimizando fatores de estresse e desvio de atenção durante a execução da ação devida, reduzindo chances de erro. Frisa-se aqui que, quanto maior a dependência da política de manutenção em relação ao desempenho humano para condução de suas atividades, inevitavelmente maior será sua vulnerabilidade a erros advindos dos próprios indivíduos encarregados dos mais diversos serviços, o que aumenta a importância da existência de medidas para garantir a qualidade desse recurso e efetividade global da manutenção.

A formalização de grupos de relevância (GR) que compreendem sistemas mais sensíveis à influência da qualidade dos recursos humanos sobre a efetividade da política de manutenção avaliada é então proposta como segue:

- Sistemas Complexos e Multifacetados;
- Sistemas com Manutenção Repetitiva;
- Sistemas com Intenso Emprego de Trabalho Humano.

Resumindo em modo estruturado, lista-se abaixo alguns aspectos positivos na efetividade de políticas de manutenção no tocante à qualidade dos recursos humanos (foco adicional a grupos de relevância são destacados entre parênteses):

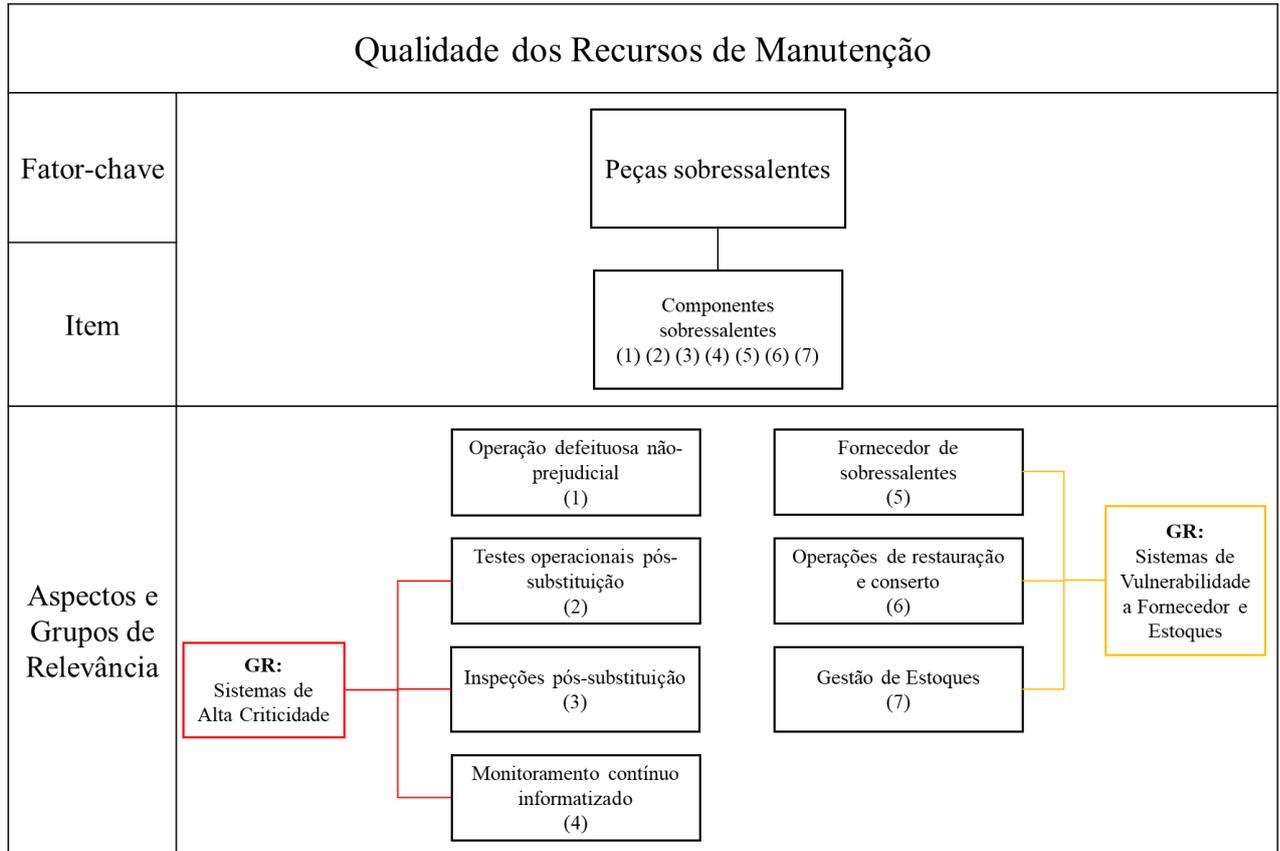
- Contínuos treinamentos e reciclagens de conhecimento;
- Rotação de atividades executadas por um mantenedor (GR: Sistemas com Manutenção Repetitiva);
- Constante atualização e revisão de protocolos técnicos de manutenção;
- Divisão de tarefas entre equipes de mantenedores especializados (GR: Sistemas Complexos e Multifacetados);
- Convenção de atividades “extra operacionais” como forma de fortalecer a cultura organizacional entre membros de equipe de manutenção;
- Revisão de atividades de manutenção (GR: Sistemas com Intenso Emprego de Trabalho Humano);
- Regularidade no agendamento de intervenções de manutenção.

Por consequência, aspectos negativos neste mesmo âmbito podem ser imediatamente identificados com base na forma negativa das medidas listadas acima.

### 3.2.5 Sumário Esquemático – Qualidade dos Recursos de Manutenção

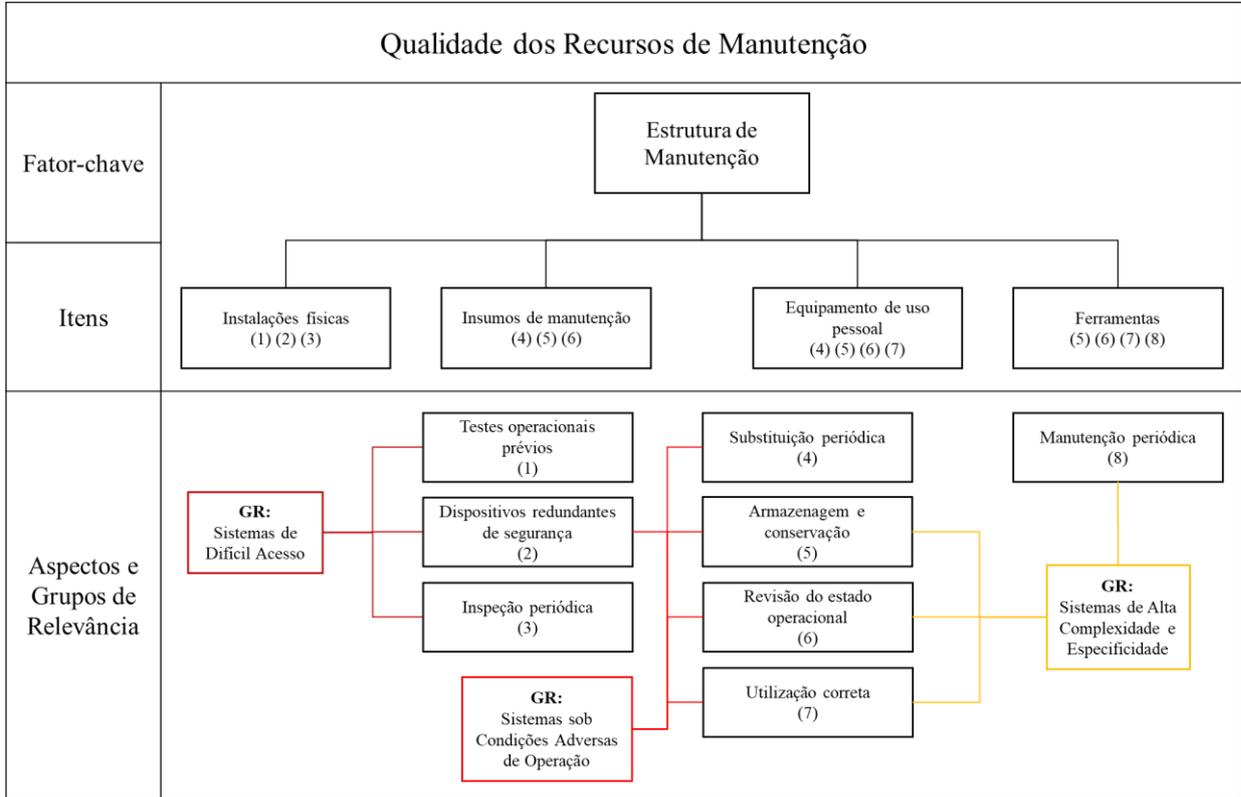
Como feito na dimensão de Nível de Melhoria Operacional, abaixo é representado quatro quadros esquemáticos sumarizando cada um dos fatores-chave abordados na dimensão de Qualidade dos Recursos de Manutenção (Peças sobressalentes, Estrutura de Manutenção, Condições Ambientais e Recursos Humanos), relativo ao Modelo Multidimensional para Avaliação da Efetividade de Políticas de Manutenção. Para cada quadro relativo a um Fator-chave, uma série de Aspectos (discorridos extensivamente nesta seção) são listados e individualmente enumerados, sendo representados em forma resumida através de afirmações generalizadas (não positivas ou negativas). Uma categorização dos Aspectos é então proposta a través da disposição de Itens, que numericamente correspondem a certos Aspectos elencados. Grupos de relevância são desenvolvidos sobre a mesma premissa descrita na seção anterior deste trabalho, desta vez associando-se individualmente a alguns Aspectos como formar de evidenciar sua importância enquanto medida indicativa da efetividade de uma política de manutenção, aplicada sob um contexto operacional específico.

Figura 10 - Esquemático do fator-chave "Peças Sobressalentes" para dimensão "Qualidade dos Recursos de Manutenção"



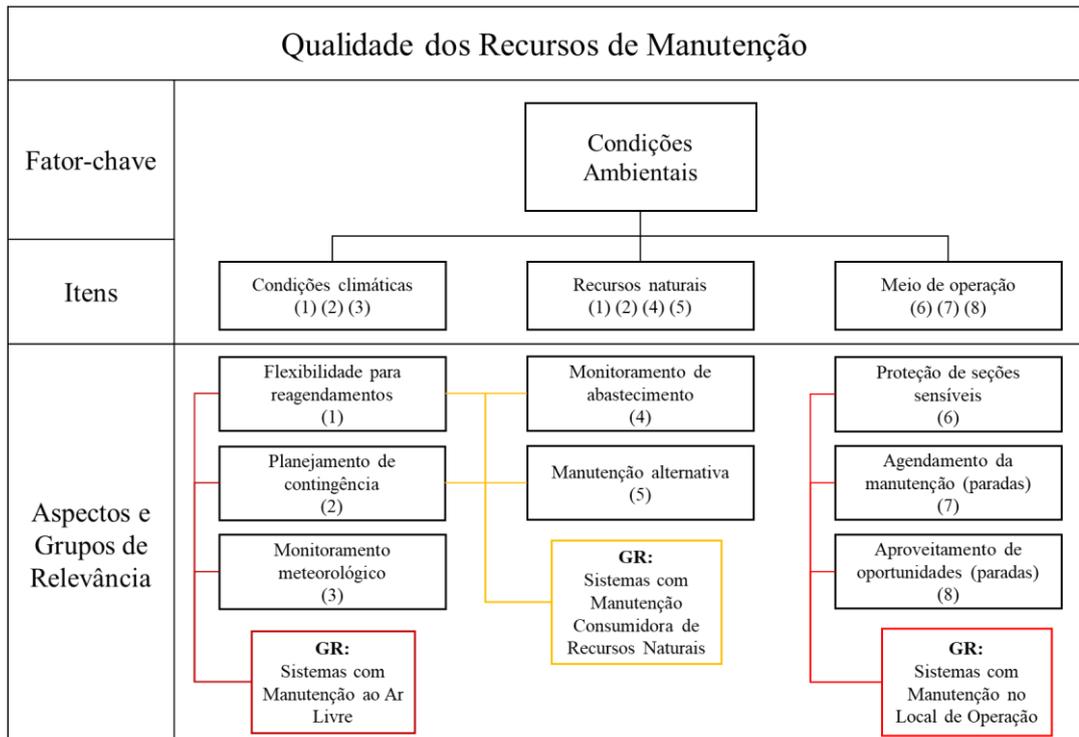
Fonte: O Autor (2020).

Figura 11 - Esquemático do fator-chave "Estrutura de Manutenção" para dimensão "Qualidade dos Recursos de Manutenção"



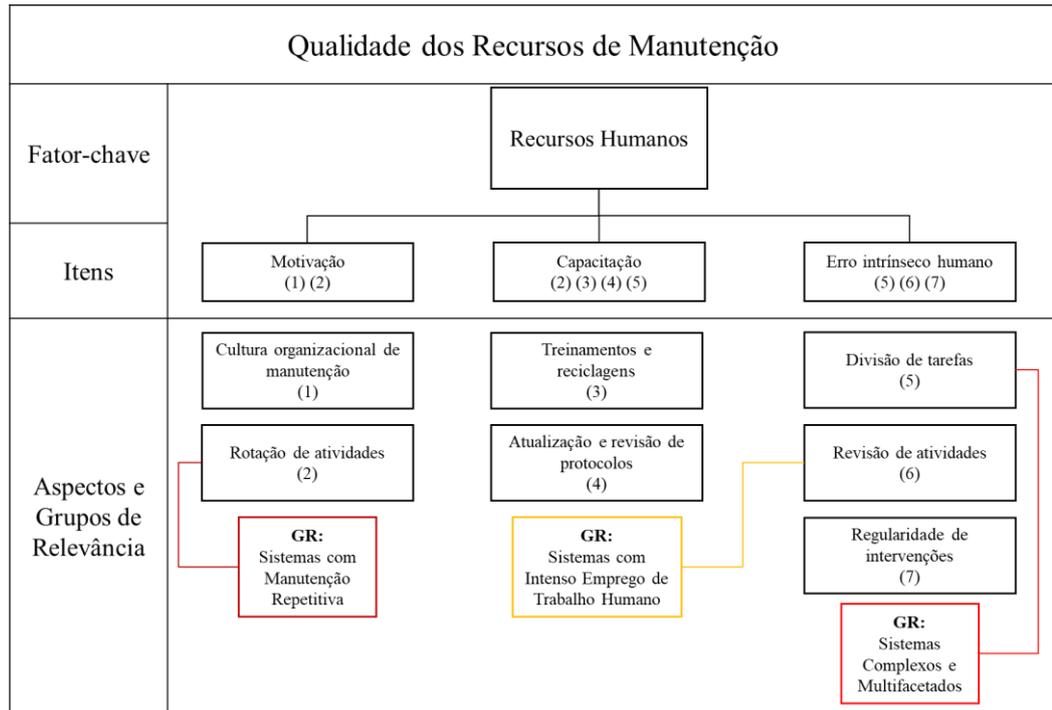
Fonte: O Autor (2020).

Figura 12 - Esquemático do fator-chave "Condições Ambientais" para dimensão "Qualidade dos Recursos de Manutenção"



Fonte: O Autor (2020).

Figura 13 - Esquemático do fator-chave "Recursos Humanos" para dimensão "Qualidade dos Recursos de Manutenção"



Fonte: O Autor (2020).

Como se pode observar, é relativamente complexa e diversa a associação de Aspectos a Fatores-chave, sendo intermediados pela correspondência a certos Itens. Evidencia-se o fato de que alguns Aspectos se relacionam a mais de um Item, o que se torna melhor explorado através do Framework prático proposto no tópico seguinte deste trabalho.

### 3.3 Esforço Gerencial

Na terceira dimensão do Modelo Multidimensional para Avaliação da Efetividade de Políticas de Manutenção, contempla-se o Esforço Gerencial. Por este termo, define-se a medida do trabalho necessário para se operacionalizar uma política de manutenção, observando-se conjuntamente o seu contexto de aplicação. Tal dimensão captura em sua essência a facilidade com que a gerência de um departamento de manutenção em certa organização é capaz de “pôr em prática” uma dada política, considerando-se todos os seus requisitos e particularidades de gerenciamento. Considerar esse elemento como influenciador da efetividade global se faz importante especialmente ao tratar de políticas ainda não aplicadas em operações reais da Indústria, pelo simples fato de muitas propostas do meio acadêmico – embora justificadas como agregadoras de vantagens consideráveis ao sistema

produtivo – não serem viáveis na prática (Oke e Ighravwe, 2017), em função da dificuldade de implementar e manter o direcionamento proposto. Caso já esteja em execução por parte do setor de manutenção, uma política pode se mostrar demasiadamente complexa a ponto de ter sua operacionalização deficiente e inefetiva, resultando mais em prejuízos do que nas vantagens alegadas na sua concepção teórica original – algo comumente não diagnosticado na operação da planta industrial.

Apesar da sua importância enquanto dimensão influenciadora da efetividade de políticas de manutenção, é escassa a produção literária que aborda esta problemática na atualidade, como evidencia a revisão previamente desenvolvida neste trabalho. Em função deste fenômeno, muito do que é discutido na presente seção é trazido de maneira inovadora, não havendo produção específica pertinente para enfatizar os aspectos aqui delineados. Partindo-se da concepção de que uma política de manutenção efetiva sob o aspecto do Esforço Gerencial é aquela que “apresenta relativa facilidade para operacionalização, permitindo o correto desenvolvimento de seus benefícios agregados com reduzidas complicações gerenciais para manutenção”, estrutura-se esta dimensão de avaliação segundo dois fatores-chave principais: Implementação e Execução Continuada. De igual modo ao observado na dimensão de Qualidade dos Recursos de Manutenção, uma medida exata “tangível” para tais fatores foge ao presente escopo. Para cada fator-chave, uma definição inicial, bem como sua relevância para a efetividade global da política, é estabelecida. Itens considerados como facilitadores da discussão qualitativa e clarificadores dos aspectos delineados em cada fator são elencados, podendo estes últimos ser associados mais intimamente a grupos de relevância que potencialmente são estabelecidos de modo a evidenciar a criticidade do Esforço Gerencial para políticas aplicadas a determinados sistemas produtivos.

### 3.3.1 Implementação

A fase de implementação de uma política de manutenção consiste na adaptação de um modelo previamente aplicado ou inovador para o determinado contexto real de uma operação produtiva/industrial. Ainda que o programa tenha sido exclusivamente projetado para a aplicação específica considerada (como é comum na literatura atual, que trata enfaticamente as políticas de manutenção sob formato de estudos de caso), modificações em geral se fazem necessárias para conciliar o cenário prático com o desenvolvimento teórico proposto. Em casos onde a política em vias de adoção é modelada em termos gerais (sem nenhuma

contextualização pré-determinada) ou ainda se encontra aplicada em contextos de operação distintos ao atual considerado, tais compatibilizações se tornam ainda mais evidentes e críticas para o sucesso da política de manutenção nesse novo cenário.

Não incluso no escopo deste fator-chave está o período de operação contínua da política, a ser tratado em seções seguintes desta dimensão de avaliação. É consensual – embora não abordado ainda de maneira efetiva na literatura – a noção de que uma política, ao ser implementada, passa por um período de implementação em caráter transiente, tendo seu fim convencionado como no momento em que ajustes sobre o modelo teórico implantado são sensivelmente reduzidos, havendo estabilização nos indicadores quantitativos dos relatórios da Manutenção. Com foco no esforço gerencial, este fator-chave se dedica à análise do trabalho da gerência do departamento de manutenção durante a fase de implementação de uma nova política de manutenção.

É notório que a ponderação deste fator sobre a efetividade global de uma política será voltada para situações onde um modelo se encontra sob vias de implementação em um determinado sistema produtivo, no que se refere a um componente ou equipamento em uma operação. Por mais que o esforço gerencial de se introduzir a política seja inerente ao departamento de Manutenção (a priori “externo” à política de manutenção), sob a proposta de uma avaliação de efetividade, esta política pode ser considerada como inefetiva para o contexto do sistema abordado se sua implementação não atender aos objetivos e expectativas traçadas de maneira geral pela organização. Itens considerados para discussão neste fator-chave podem ser sumarizados em: Maturidade do Modelo e Complexidade de Implementação.

Por maturidade do modelo, traduz-se a ideia de que políticas de manutenção em geral requerem um desenvolvimento teórico relativamente extenso – na forma de revisões, aprimoramentos e experimentações empíricas – para só então serem sinalizadas como “viáveis” para uma aplicação real a um contexto de indústria. Modelos que ainda não foram extensivamente debatidos e desenvolvidos no meio acadêmico tendem a possuir uma implementação mais dificultada, cercada de empecilhos e imprevistos que outrora poderiam ter sido detectados e sanados ainda na sua concepção teórica. Isso se traduz num impacto sensível sobre o esforço gerencial necessário para “adequar” a política teórica a um cenário prático, visto que nesse caso tais empecilhos conceituais e metodológicos devem ser solucionados pelo próprio departamento de manutenção durante a implementação. Outro item relevante nesta análise é a complexidade com que o Modelo “desafia” a gerência de manutenção, ainda na fase de implementação. Isto fica claro ao se observar, por exemplo, o

número de ações de manutenção contabilizados na política, bem como os recursos que esta necessita para ser operacionalizada e sua sensibilidade a parâmetros de operação do sistema. Tais elementos acabam por demandar uma maior capacitação técnica e intensidade de trabalho por parte dos gerentes responsáveis pela manutenção, sob penas de introduzir uma metodologia inefetiva, o que caracteriza o aumento do esforço gerencial. Penas concretas pela má implementação de políticas de manutenção podem ser diversas, variando desde custos operacionais elevados, falhas constantes e desperdício de recursos até o desencadeamento de danos a outros equipamentos e componentes do sistema, com conseqüente falha catastrófica da operação, o que por sua vez compromete a segurança dos operadores envolvidos e a “saúde” geral da organização.

Tendo isso posto, é possível identificar características em políticas de manutenção que indiciam uma possível implementação mais “suave” a um contexto prático considerado, agindo em favor de minimizar o esforço gerencial e prevenir contratempos à operação do sistema. A isto atribui-se positivamente a efetividade de uma política de manutenção sob vistas do esforço gerencial, no quesito de implementação do modelo avaliado.

Políticas de manutenção efetivas devem apresentar maturidade. Por maturidade, entende-se um desenvolvimento extensivo na Academia no que se refere a sua modelagem, passando pela fase de concepção, análise de indicadores probabilísticos e de sensibilidade, experimentação prática em contextos controlados, revisão de hipóteses e metodologia, apontamento e correção de erros, generalização de elementos para ampliação da gama de aplicabilidade, entre outros. O fator tempo desde a primeira concepção de uma política de manutenção ainda em estágio teórico pode ser algo relevante a ser considerado, sendo, no entanto, mais efetivo observar o número de trabalhos envolvendo a proposição de certa política, número de desenvolvimentos empíricos que aplicam tal modelo e menção desta metodologia em artigos de revisão e discussão elaborados por terceiros. Maturidade de uma política de manutenção se mostra particularmente interessante ao se tratar de contextos onde o departamento de manutenção não se encontra bem consolidado (capacitação técnica não-satisfatória, pouco pessoal dedicado a atividades gerenciais, entre outros) ou quando restrições severas são impostas pela organização sobre a Manutenção no tocante à implementação de uma certa política (pouco tempo para operacionalização, recursos limitados, entre outros). Nesses cenários, modelos ainda não devidamente “maturados” pelo meio acadêmico podem gerar transtornos até duradouros sobre o sistema, enquanto a execução inefetiva da política de manutenção for sustentada na operação.

Tratando da complexidade para implementação, políticas efetivas são marcadas por trazer um número apropriado de possíveis ações incorporadas e recursos demandados em seu modelo, não buscando estender-se sobre procedimentos dúbios ou demasiadamente complexos que não tragam real benefício ao sistema onde será aplicado. Sensibilidade moderada também constitui um aspecto positivo, visto que permite uma maior facilidade por parte da gerência em compatibilizar a proposta teórica com as capacidades do departamento de manutenção, sem comprometer possíveis benefícios alegados na modelagem analítica da política. Novamente, casos onde a função manutenção não se encontra devidamente consolidada ou é influenciada por severas restrições ao processo de implementação tendem a ser mais impactados por esse elemento de complexidade.

A formalização de grupos de relevância (GR) que compreendem sistemas mais sensíveis à influência do esforço gerencial para implementação sobre a efetividade da política de manutenção sob vias de adoção avaliada é então proposta:

- Sistemas com Função Manutenção Não Consolidada;
- Sistemas com Restrições no Processo de Implementação.

Resumindo em modo estruturado, lista-se abaixo alguns aspectos positivos na efetividade de políticas de manutenção no tocante ao esforço gerencial para implementação (foco adicional a grupos de relevância são destacados entre parênteses):

- Extenso desenvolvimento acadêmico acerca da política de manutenção (GR: Função Manutenção Não Consolidada; GR: Restrições no Processo de Implementação);
- Apropriado número de possíveis ações e recursos a serem empregados (GR: Função Manutenção Não Consolidada; GR: Restrições no Processo de Implementação);
- Sensibilidade moderada a hipóteses e demandas do modelo teórico (GR: Função Manutenção Não Consolidada; GR: Restrições no Processo de Implementação).

Por consequência, aspectos negativos nesse mesmo âmbito podem ser imediatamente identificados com base na forma negativa das medidas listadas acima.

### 3.3.2 Execução Continuada

Após o processo de implementação, uma política de manutenção pode apresentar desafios sob vistas do esforço gerencial durante a sua execução contínua sobre o sistema em consideração. Utilizando-se da noção previamente definida acerca da adoção de políticas de manutenção, compostas por uma fase transiente inicial de implementação, a etapa seguinte –

onde os ajustes sobre o modelo teórico implantado são sensivelmente reduzidos e observa-se uma estabilização nos indicadores quantitativos dos relatórios da Manutenção – constitui um período de execução “estacionário” contínuo, onde o sistema opera sobre as premissas da política implementada. Nesse período, políticas de manutenção podem ser avaliadas em termos de efetividade dentro da dimensão de esforço gerencial através do trabalho empregado pela gerência do departamento de manutenção para manter uma política em perfeita execução dentro do contexto operacional no qual se encontra inserida, tal qual proposto neste fator-chave.

A avaliação de efetividade durante execução continuada pode ser empregada em qualquer sistema operacional, prioritariamente na condição de que a política já esteja em pleno vigor (implementada) na operação, independentemente do tempo em atuação (uma análise sobre modelos ainda em vias de adoção também é possível, quando se deseja antecipar o esforço gerencial para operar continuamente uma política proposta). Para fins deste fator-chave, uma política é considerada inefetiva quando o esforço empregado pela gerência do departamento de manutenção para manter sua execução excede as expectativas ou objetivos traçados pela organização, ou ainda quando mesmo o empenho máximo dos gerentes falha em manter o correto desempenho da política adotada, o que acarreta prejuízos econômicos, perda de confiabilidade, aumento do risco associado à operação, dentre outros. Destaca-se que tais malefícios muitas vezes se mantêm de forma oculta no sistema, o que magnifica a importância de se manter um bom controle gerencial sobre a política de manutenção em análise. Sucintamente, são abordados três itens principais a contribuir com a presente discussão: Variáveis de controle, Alterações em *runtime* e Complexidade da execução continuada.

No tocante a variáveis de controle, é imperativo compreender o esforço gerencial associado ao número de grandezas variáveis que devem ser definidas a critério do gerente de manutenção, o que implica na execução de múltiplos procedimentos de otimização analítica, simulações computacionais ou análise histórica para estabelecimento dos níveis ótimos para cada variável – o que implica ainda na necessidade do registro estruturado de diversas informações. Caso as análises não sejam corretamente realizadas, a operação pode-se manter em estado subotimizado durante prolongados intervalos de tempo, o que atua no sentido de acumular deficiências, desperdícios e redundâncias no gerenciamento da manutenção do equipamento/componente. Por alterações em *runtime*, entende-se a necessidade inerente à uma política de manutenção de realizar ajustes e recálculos durante sua execução continuada em uma operação, tal qual observa-se, como exemplo ilustrativo, em políticas baseadas na substituição por idade (dependendo de quando houve a última substituição, é necessário

reagendar o calendário de futuras ações de manutenção – inspeções e/ou novas substituições). Uma metodologia fundamentada sobre este tipo de alteração inesperada acarreta um trabalho redundante e elevado para a gerência de manutenção, escalável à medida que mais componentes vinculados à política perdem sincronia ou aumentam-se o número de variáveis a serem controladas. Tal combinação de elementos pode fatalmente comprometer a efetividade da política empregada, caso o departamento não saiba lidar com tais demandas recorrentes ou acabe por cometer erros nos recálculos e reajustes necessários. Por fim, remete-se novamente ao conceito de complexidade – dessa vez voltada para a fase de execução continuada – para retratar o nível de esforço requisitado pela política sobre os gerentes de manutenção. Por complexidade, pode-se associar atividades tais quais a coordenação de múltiplas equipes de manutenção – atuando muitas vezes numa sincronia particular com dependência sobre o estado do sistema e variações às quais este pode ser acometido – além de relação com outros departamentos para aquisição de recursos necessários às ações de manutenção, entre outros tipos de procedimentos que podem escalar em nível de dificuldade a depender da política adotada e suas premissas, o que contribui para a elevação do esforço gerencial.

Sendo assim, abaixo elicitam-se algumas medidas potencialmente presentes em políticas de manutenção que são avaliadas como efetivas sob ponto de vista do esforço gerencial durante a fase de execução continuada.

A começar do item de variáveis de controle, aspectos positivos adotados em políticas efetivas dizem respeito à minimização das variáveis sob decisão do gerente de manutenção – quando esta simplificação se faz viável e não altera sensivelmente o desempenho da operação, facilitando a operacionalização da política. Quando inevitavelmente existirem múltiplas variáveis de decisão, é favorável uma sensibilidade moderada a variações das grandezas associadas, de modo que uma análise menos aprofundada e demorada (adoção de parâmetros ainda subótimos, ou com garantias de otimização apenas locais) seja capaz de prover os mesmos benefícios alegados pela política de manutenção em configuração globalmente otimizada para todas as variáveis. Uso de ferramentas computadorizadas para otimização pode ser útil no auxílio à decisão sobre variáveis de controle, enquanto que a adoção de uma abordagem oportunística pode desconsiderar os marcos estabelecidos pela política ao basear-se na aleatoriedade de momentos de parada na operação para realização de intervenções previstas, contabilizando-se assim apenas o tempo de funcionamento do sistema. Operações gerenciadas por um departamento de manutenção ainda não consolidado (sem capacitação técnica necessária à política executada, com pouco pessoal apto para tomadas de decisão) acabam por sofrer mais severamente com a necessidade de lidar com diversas variáveis de

decisão para “calibração” da política de manutenção, sendo mais suscetíveis a execução continuada subótima.

Medidas efetivas incorporadas por políticas para redução do esforço gerencial na forma de alterações em *runtime* incluem a adoção de um sistema de agendamento mais previsível, quando possível e sem comprometer o desempenho do programa. Utilização de oportunidades que surjam durante a execução continuada para realização de ações planejadas, bem como ações conjuntas do tipo “em lote”, também constituem alternativas para minimização do recálculo constante de calendários de atividades e outros reajustes de intervenções. Adicionalmente, pode-se considerar o emprego de sistemas automatizados para a realização das alterações em *runtime* necessárias, recorrendo a novas tecnologias que embarcam Sistemas de Informação e processamento de alto desempenho para tomada de decisão. Novamente, sistemas com Função Manutenção não consolidada tendem a ser mais influenciados sobre estes aspectos mencionados, bem como sistemas que possuem pouca agilidade/flexibilidade na tomada de decisão em manutenção, onde fatores como burocracia excessiva e má comunicação entre operadores e gerentes pode comprometer a efetividade caso decisões sobre alterações em *runtime* necessitem ser tomadas e/ou desempenhadas em um curto espaço de tempo.

Por fim, de maneira geral, políticas tendem a ser favoráveis à efetividade quando lidam com a complexidade durante a execução continuada. Medidas tais como simplificação das ações desempenhadas e coordenação em conjunto das intervenções planejadas tendem a aliviar o esforço gerencial e reduzir a probabilidade de erros durante a tomada de decisão. Utilização de sistemas automatizados, computadorizados e inteligentes também atua no aumento da efetividade global da política neste âmbito, ao tornar mais ágil e precisa a coordenação de elementos mais complexos da manutenção tal qual demandado pela política em execução. Mais uma vez tendem a ser mais sensivelmente afetados aqueles sistemas com Função Manutenção não consolidada (em especial com pouco pessoal para coordenação das atividades de gerência), ou que apresentem no seu funcionamento pouca agilidade na tomada de decisões.

A formalização de grupos de relevância (GR) que compreendem sistemas mais sensíveis à influência do esforço gerencial durante a execução continuada sobre a efetividade da política de manutenção avaliada é então proposta como segue:

- Sistemas com Função Manutenção Não Consolidada;
- Sistemas com Pouca Agilidade/Flexibilidade para Tomada de Decisão.

Resumindo em modo estruturado, lista-se abaixo alguns aspectos positivos na efetividade de políticas de manutenção no tocante ao esforço gerencial durante execução continuada (foco adicional a grupos de relevância são destacados entre parênteses):

- Minimização das variáveis sob decisão da gerência de manutenção, quando viável (GR: Função Manutenção Não Consolidada);
- Sensibilidade moderada a oscilações nas variáveis de decisão (GR: Função Manutenção Não Consolidada);
- Uso de ferramentas computadorizadas para auxílio na otimização de variáveis de decisão;
- Adoção de um sistema de agendamento mais previsível, quando viável (GR: Função Manutenção Não Consolidada; GR: Pouca Agilidade/Flexibilidade para Tomada de Decisão);
- Utilização de oportunidades para realização da manutenção (GR: Função Manutenção Não Consolidada; GR: Pouca Agilidade/Flexibilidade para Tomada de Decisão);
- Priorização de ações conjuntas do tipo “em lote” (GR: Função Manutenção Não Consolidada; GR: Pouca Agilidade/Flexibilidade para Tomada de Decisão);
- Utilização de sistemas automatizados para tomada de decisão em *runtime* na manutenção (GR: Pouca Agilidade/Flexibilidade para Tomada de Decisão);
- Simplificação na coordenação das ações planejadas (GR: Função Manutenção Não Consolidada; GR: Pouca Agilidade/Flexibilidade para Tomada de Decisão);
- Utilização de sistemas automatizados, computadorizados e inteligentes para a coordenação de atividades de manutenção (GR: Pouca Agilidade/Flexibilidade para Tomada de Decisão).

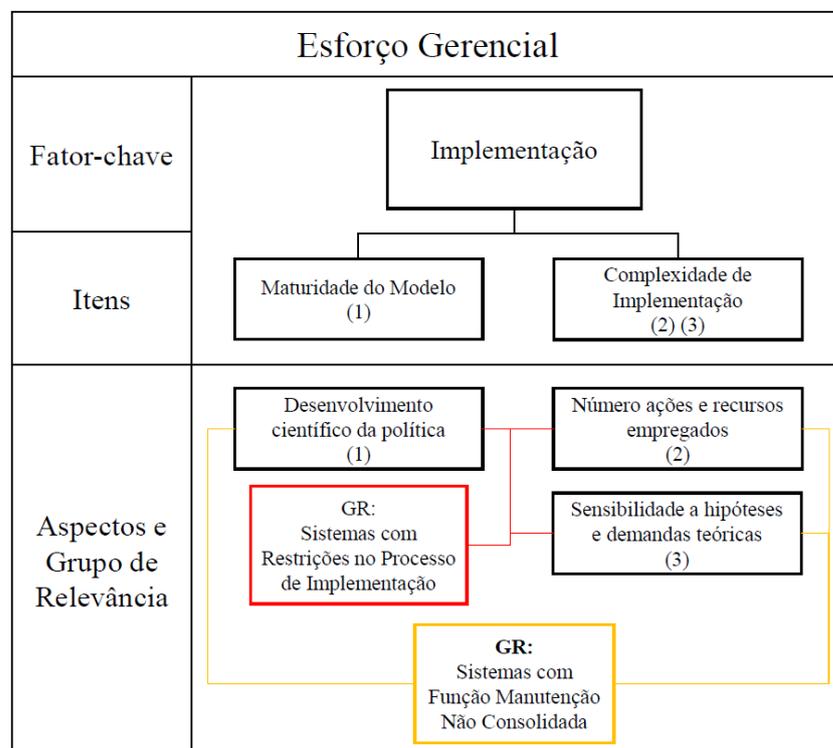
Por consequência, aspectos negativos nesse mesmo âmbito podem ser imediatamente identificados com base na forma negativa das medidas listadas acima.

### 3.3.3 Sumário esquemático – Esforço Gerencial

Para a dimensão de Esforço Gerencial do Modelo Multidimensional para Avaliação da Efetividade de Políticas de Manutenção, são representados abaixo dois quadros esquemáticos que sumarizam visualmente cada um dos fatores-chave abordados (Implementação e Execução Continuada). Em cada quadro, o Fator-chave é retratado no topo, sendo associado de maneira intermediária a Itens. Aspectos – aqui representados na parte inferior da figura –

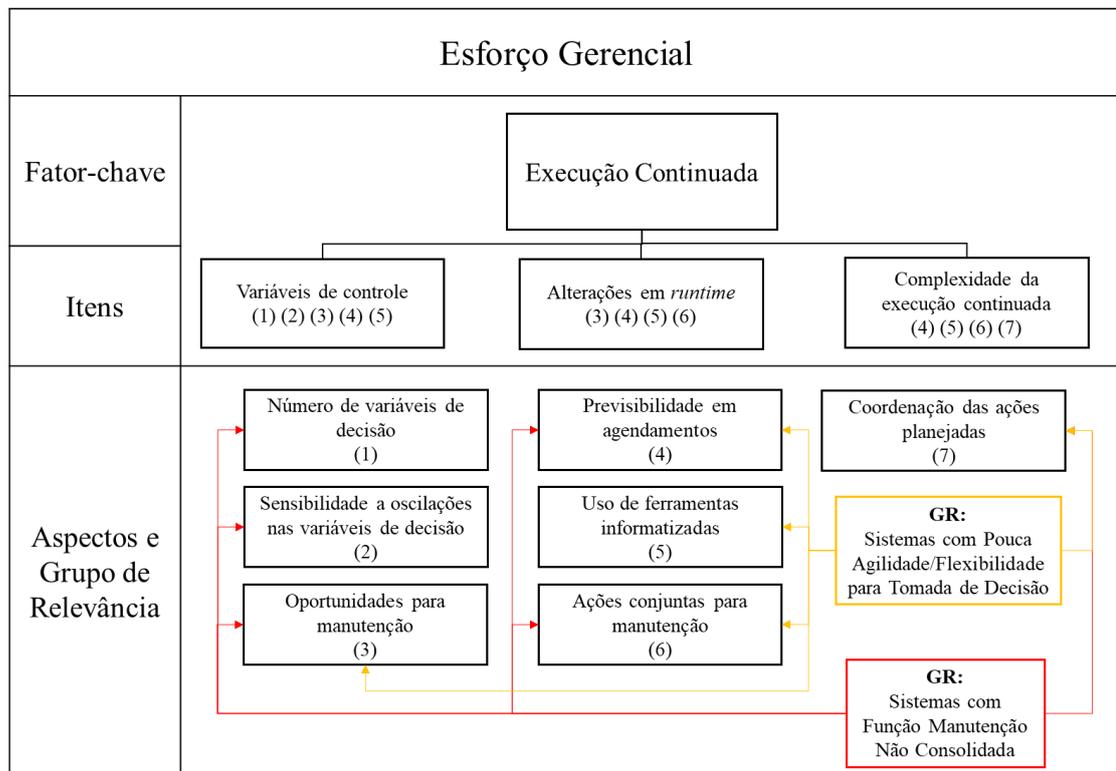
resumem as medidas indicativas de efetividade previamente percorridas de forma extensiva nesta seção, sendo conjuntamente listados, enumerados e representados por afirmações generalizadas (não positivas ou negativas). Numericamente, categorizam-se Aspectos entre os Itens delineados para cada Fator-chave. Grupos de Relevância, sob as mesmas premissas explicitadas em seções anteriores, ligam-se a determinados Aspectos com o intuito de evidenciar a importância destas enquanto medidas indicativas de efetividade de uma dada política de manutenção, sob um determinado contexto operacional de aplicação.

Figura 14 - Esquemático do fator-chave "Implementação" para dimensão "Esforço Gerencial"



Fonte: O Autor (2020).

Figura 15 - Esquemático do fator-chave "Execução Continuada" para dimensão "Esforço Gerencial"



Fonte: O Autor (2020).

Novamente, ressalta-se o fato de alguns Aspectos corresponderem a mais de um Item proposto para o dado Fator-chave, o que se torna mais claro a partir da aplicação do presente Modelo Multidimensional através do Framework prático desenvolvido no tópico seguinte deste trabalho.

### 3.4 Alinhamento Estratégico

Ao formular sua estratégia corporativa, uma organização constrói um modelo de decisões que determina e revela seus objetivos a curto, médio e longo prazo, detalhados no formato de políticas e planos voltados ao seu contexto tanto global como local à cada unidade de negócio e seus respectivos departamentos, que por sua vez englobam rotinas operacionais que afetam certos setores da operação. Sendo assim, entende-se que a estratégia corporativa se desenvolve através do planejamento voltado a cada um dos níveis organizacionais, sendo eles:

- Estratégico: voltado a objetivos globais da corporação, em caráter de longo prazo;
- Tático: voltado a objetivos que afetam apenas parte da organização, em caráter de médio/curto prazo;

- Operacional: voltado a rotinas operacionais específicas, em caráter de curto prazo.

Trazendo ao contexto do Modelo Multidimensional para Avaliação da Efetividade de Políticas de Manutenção, observa-se que todas as dimensões até então desenvolvidas tem sua efetividade analisada com base nos objetivos estabelecidos pela organização no tocante a partes específicas de sua estrutura (Função Manutenção) e rotinas operacionais (atividades de manutenção), compreendendo assim uma avaliação já em caráter estratégico, porém nos seus âmbitos ainda táticos e operacionais relacionados à Manutenção. Tal metodologia faz sentido pelo fato de políticas de manutenção serem modelos essencialmente operacionais voltados às intervenções feitas sobre a condição de um componente ou equipamento, com dimensão tática quando se observa a esfera da gerência de tais atividades, ainda dentro da unidade organizacional que compreende a Função Manutenção.

Convém, no entanto, observar que a estratégia corporativa, ainda no seu nível propriamente estratégico voltado a decisões primariamente de longo prazo, por se tratar de direcionamentos de impacto global sobre toda a estrutura organizacional, exerce influência indireta sobre a Função Manutenção, com reflexos a serem observados até a “ponta operacional” que compreende as políticas de manutenção e suas atividades. Dessa forma, torna-se necessário avaliar a efetividade dessas políticas frente não só aos objetivos táticos e operacionais atribuídos à Manutenção, mas também no que se refere ao alinhamento com o posicionamento de mercado adotado e metas globais estabelecidas por parte da alta gestão sobre toda e extensão da empresa.

Fora da intenção de esgotar o escopo que constitui o planejamento em nível estratégico e todos os seus possíveis delineamentos, esta dimensão propõe analisar as principais abordagens incorporáveis estrategicamente pelas organizações, bem como seus reflexos esperados sobre políticas de manutenção, de forma que estas tornem-se efetivas sob vistas do alinhamento à proposta “macro” consolidada na empresa. Para tanto, distinguem-se fatores-chave de acordo com uma visão adaptada das Cinco Forças de Porter (PORTER, 1980), utilizadas aqui como guia pelo fato de constituir um modelo sucinto e ao mesmo tempo amplamente empregado para estruturar o planejamento estratégico a partir da análise do ambiente competitivo, com finalidade de alcançar vantagem competitiva frente ao mercado.

Enquanto que o modelo das Cinco Forças distinguem cinco “entidades” que influenciam e determinam o sucesso empresarial no mercado, a saber: Fornecedores, Compradores, Potenciais Entrantes, Produtos Substitutos e Rivalidade Competitiva, a abordagem adaptada aqui proposta enxerga o planejamento em nível estratégico como

direcionado ao Relacionamento com Consumidores, Relacionamento com Fornecedores e Competição de Mercado. Questão de potenciais entrantes é conglomerada à competição de mercado, enquanto o tema de produtos substitutos pode ser modelado como função do relacionamento com clientes ou resposta à competição de mercado. Esses, portanto, constituem os fatores-chave a serem analisados na presente dimensão de Alinhamento Estratégico.

Dentro de cada uma dessas esferas, itens clarificadores da discussão são trazidos em conformidade com algumas das principais posturas estratégicas trabalhadas pelas organizações, com aspectos em forma positiva associados à ideia de como políticas de manutenção se comportam no sentido favorável à postura adotada. Inevitavelmente, é de se observar que alguns aspectos se repetem com relação àqueles já mencionados em outras dimensões de avaliação, o que não compromete a validade da discussão aqui desenvolvida. Ao contrário, tal repetição conclui que determinadas medidas agregadas a políticas de manutenção atuam sobre o caráter da efetividade em múltiplas esferas de avaliação, magnificando-se assim sua importância sobre o desempenho geral da política. A formalização de grupos de relevância não é aqui trazida pelo fato das próprias posturas estratégicas mencionadas ao longo das discussões subsequentes já servirem de guia para como seletivamente considerar e focalizar certos aspectos de efetividade aqui desenvolvidos, mantendo-se assim a simplicidade e brevidade da abordagem qualitativa generalizada aqui proposta.

#### 3.4.1 Relacionamento com consumidores

Por relacionamento com consumidores, entende-se a vertente do planejamento em nível estratégico que lida com o modo através do qual a organização interage com o público que consome seus produtos, o que se manifesta de maneira comum a todas as empresas produtivas e voltadas a circulação de bens materiais. Sob essa perspectiva, algumas posturas estratégicas adotadas podem ter reflexos consideráveis sob uma política de manutenção adotada para certo componente ou equipamento da linha produtiva. São elencadas como itens para discussão neste fator-chave: qualidade, custo e rapidez, retratando as principais possíveis abordagens de interação com o mercado consumidor.

A estratégia de relacionamento com consumidores sob foco no item da qualidade dos produtos entregues apresenta implicações que se estendem sobre toda a cadeia produtiva. Trazendo para o contexto de políticas de manutenção, embora grande maioria dos modelos

desenvolvidos não relacionarem qualidade de *output* com o desempenho da manutenção – tal desempenho estaria mais envolvido com a possibilidade ou não de cumprimento da operação em si – nota-se uma possível hipótese de que, em certas aplicações, o conceito de estado “defeituoso” concebido por uma modelagem de falha em três estados (tal qual o modelo *delay time*) implicaria num nível operacional menos favorecido no sentido da produtividade (unidades por tempo), ou ainda, da qualidade do produto.

Um exemplo desse fenômeno pode ser idealizado na indústria alimentícia, onde uma válvula responsável por dosar a medida de um certo ingrediente líquido, uma vez operando em estado defeituoso, pode ser capaz de prover sua função básica de fechar-se mantendo ainda um pequeno vazamento de material à mistura. Apesar de não constituir uma falha crítica do sistema, tal operação pode acarretar um produto com sabor e propriedades não padronizados, o que caracteriza uma má qualidade entregue ao consumidor. Nesta situação, uma intensa ação do controle de qualidade poderia servir como barreira para que anomalias no processo produtivo não alcancem as mãos do público. De qualquer forma, esperar que produtos sejam observados como danificados ou fora do padrão para que alguma providência seja tomada corresponde a perdas financeiras consideráveis, o que torna a efetividade relacionada a uma política de manutenção essencial no que tange à garantia da qualidade dos produtos e, conseqüentemente, a satisfação do consumidor. Sob essas premissas consideradas, políticas efetivas alinham-se à estratégia de foco na qualidade do produto oferecido aos consumidores quando buscam minimizar o tempo do componente/equipamento no seu estado operacional “defeituoso”, o que pode ser operacionalizado por medidas como intensificação de ações preventivas de inspeção e revisão, além de minimização do fenômeno de indução de defeitos nas intervenções.

Por outro lado, uma estratégia de relacionamento com consumidores pautada no item de custos foca na minimização do preço pago pelos produtos comercializados, sem consideração por aspectos diversos tais como a qualidade. Embora muitas operações a tenha apenas como fonte de gastos “inevitáveis” e “irrelevantes”, fato é que a Manutenção pode corresponder a grande parte dos custos incorridos numa operação produtiva, de modo que há grande parcela de contribuição a ser proporcionada por esta Função sob vistas à concretização de uma postura voltada ao barateamento do *output*. Nesse contexto, políticas que se alinham à essa estratégia em geral buscam reduzir os seus custos totais, favorecendo a mensuração da performance da manutenção através do indicador de Razão de Custo por Unidade Produzida (*RCP* - tal qual abordado na dimensão de Nível de Melhoria Operacional). Fontes de redução das despesas em manutenção são diversas, dentre as quais pode-se destacar redução no

número de intervenções propostas, minimização de substituição de componentes (preferência por peças recicladas ou com tempo de vida prolongada, foco em ações de restauração e conserto), dentre outros.

Finalmente, observa-se a postura estratégica voltada à priorização da rapidez com que o produto se torna disponível ao consumidor, muitas vezes em detrimento de itens como qualidade e custo. Embora o caráter da rapidez associe-se mais diretamente com a cadeia de suprimento e logística de distribuição implementada na organização, a manutenção alinha-se a esta estratégia ao dar enfoque sob o fator de disponibilidade da produção no tocante a um certo equipamento ou componente. Políticas efetivas nesse item são aquelas que em geral buscam reduzir o *downtime* necessário às intervenções conduzidas, favorecendo a mensuração de performance através do indicador de Razão de Disponibilidade (*RD* – tal qual abordado na dimensão de Nível de Melhoria Operacional). Na sua operacionalização, fontes de aumento da disponibilidade se enumeram como redução do número de intervenções necessárias – com priorização de ações em “lote” ou uso de oportunidades, agilização do serviço de manutenção (através de equipe maior/mais especializada, por exemplo), dentre outros.

Resumindo de modo estruturado aspectos positivos de políticas de manutenção citados acima, como evidência de efetividade na forma de alinhamento estratégico à postura global adotada pela alta direção da organização, tem-se em termos mais gerais:

- Minimização do tempo no estado defeituoso através de intensificação de ações preventivas;
- Minimização do tempo no estado defeituoso através de mitigação do fenômeno de indução de defeitos;
- Minimização de custos totais com mensuração pela Razão de Custos por Unidade Produzida (*RCP*);
- Maximização da disponibilidade com mensuração pela Razão de Disponibilidade (*RD*);
- Minimização do número de ações de manutenção;
- Priorização do uso de itens reciclados/reutilizados;
- Priorização de ações de restauração e conserto;
- Priorização de ações em lotes e aproveitamento de oportunidades;
- Agilização dos serviços de manutenção (redução do tempo de execução)
- Maximização de ações proativas, mas sem planejamento prévio que exija a parada do sistema.

Aspectos negativos podem ser diretamente identificados com base na forma negativa das medidas listadas acima.

### 3.4.2 Relacionamento com fornecedores

Em se tratando do planejamento a nível estratégico que compete à relação com os fornecedores de insumos à linha produtiva da organização, reflexos sobre políticas de manutenção se evidenciam principalmente na questão do relacionamento com provedores de peças sobressalentes e/ou serviços especializados, estes últimos aqui também entendidos como “fornecidos” por uma terceira parte à Função Manutenção. Ao relacionar-se com estes, uma organização pode adotar posturas estratégicas primárias de focalizar um único fornecedor – objetivando com isso o estreitamento de negociações através de um contrato de exclusividade, isolando a concorrência do suprimento de certos componentes e serviços ao modo como provido pelo terceiro e, dessa forma, diferenciando-se no mercado – ou a busca de uma diversificação do fornecimento para certo sobressalente ou atendimento, almejando assim reduzir imprevistos tais como atrasos de carregamentos e lotes comprometidos, aumentar seu poder de barganha frente a provedores, mitigar a implementação de componentes de má qualidade e inibir a indução de erros por serviços mal desempenhados, entre outros. Constituem-se, portanto, a focalização e a diversificação os dois itens a serem considerados neste fator-chave para discussão de aspectos de efetividade em políticas de manutenção, no tocante ao alinhamento estratégico às principais posturas de relacionamento com fornecedores. Em ambos os itens, medidas sinalizadoras da efetividade de políticas de manutenção evidenciam aspectos percorridos previamente na dimensão de Qualidade dos Recursos de Manutenção, nos fatores-chave de Peças sobressalentes e Recursos Humanos. Ênfases específicas e detalhamentos são providos a seguir para melhor avaliação deste fator-chave.

De maneira geral, uma política efetiva alinha-se à postura de focalização de fornecedor ao precaver-se de possíveis contratemplos em função do suprimento único de um dado sobressalente ou serviço especializado. Aspectos positivos neste âmbito envolvem uma boa Gestão de Estoques, com finalidade de reduzir imprevistos mediante atrasos de entregas, além do teste prévio de componentes antes de serem inseridos no sistema durante intervenções de manutenção. Em se tratando de serviços prestados, a postura de exclusividade de provedor implica na intensificação de ações de revisão, como o teste operacional do sistema após a

realização de atividades da manutenção e inspeção após substituição, com finalidade de mitigar e corrigir possíveis erros sistemáticos introduzidos pelo operador do serviço.

Passando para a postura estratégica de diversificação de suprimento, políticas efetivas neste alinhamento priorizam a modelagem de heterogeneidade tanto nos componentes implementados quanto nos serviços prestados. Isso implica na hipótese da existência de grupos de sobressalentes com diversos níveis de confiabilidade, referindo-se ao suprimento por múltiplos fornecedores. Da mesma forma para o serviço provido, pode-se considerar um efeito indutor de erros humanos em caráter estocástico como estimativa do cenário de múltiplos servidores distintos operando sobre o sistema, buscando assim uma otimização para parâmetros considerados verossímeis ao histórico prático de serviço observado na operação (SCARF et al., 2009; SCARF; CAVALCANTE, 2012).

Resumindo de modo estruturado os aspectos positivos de políticas de manutenção citados acima, como evidência de efetividade na forma de alinhamento estratégico à postura global adotada pela alta direção da organização, tem-se em termos mais gerais:

- Otimização da Gestão de Estoques;
- Teste prévio de componentes antes de serem inseridos no sistema;
- Teste operacional do sistema após execução de serviços de manutenção, em especial substituições;
- Inspeção após substituições;
- Modelagem heterogênea para confiabilidade dos componentes inseridos no sistema;
- Modelagem heterogênea estocástica para efeito de indução de erro por fatores humanos (serviços prestados).

Aspectos negativos podem ser diretamente identificados com base na forma negativa das medidas listadas acima.

### 3.4.3 Competição de Mercado

Neste último fator-chave, observam-se posturas estratégicas referentes à competição desempenhada pela organização frente a seus concorrentes, inseridas num contexto de mercado, e como políticas de manutenção se alinham a tais planejamentos de forma a prover vantagem competitiva. Discorrendo de maneira sucinta, pode-se distinguir dois tipos básicos de estratégias de competição em mercado: por custo ou diferenciação. Quando se abordam custos, o foco organizacional recai sobre a diminuição de preço dos itens produzidos em relação ao praticado pela concorrência, de modo que uma maior prioridade é dada à eficiência

operacional, implicando em reflexos consideráveis sobre políticas de manutenção adotadas. Tratando-se em diferenciação, observa-se uma maior intencionalidade na entrega de um produto que, embora dispute com equivalentes de mercado, agrega valores particulares em relação à concorrência. No que tange às políticas de manutenção, reflexos são observados majoritariamente quando se consolida uma postura estratégica de diferenciação baseada na qualidade, rapidez de entrega, entre outros. Sendo assim, confirmam-se neste fator-chave dois itens para discussão do alinhamento de políticas de manutenção com estratégias corporativas globais, como evidência de efetividade: Custo e Diferenciação. Embora reflexos do planejamento estratégico sobre políticas de manutenção nesse escopo já tenham sido desenvolvidos na presente dimensão de avaliação, aqui propõe-se revisar alguns destes aspectos que interagem com o fator de competição em mercado, sob caráter mais específico.

Em competição baseada no custo, políticas de manutenção efetivas alinham-se a estratégia global ao focarem na redução das despesas em suas atividades, permitindo assim uma consequente redução no preço de mercado. Este item assemelha-se a redução de custo proposta no fator-chave de relacionamento com consumidores, diferenciando-se apenas no referencial do objetivo global da corporação, aqui tomado como o valor cobrado pela concorrência. Novamente, aspectos positivos ao alinhamento da política à postura estratégica englobam a minimização de custos totais com vias de mensuração pelo indicador de Razão de Custo por Unidade Produzida (*RCP*), minimização de intervenções em manutenção, entre outros, com diferencial para adoção de procedimentos mais eficientes e econômicos quando comparados com a prática comum industrial, a exemplo da utilização mais intensiva de componentes reciclados e restauração/conserto de itens usados para reintrodução no sistema. Cuidado adicional deve ser tomado com relação a este último, para que custos maiores em longo prazo não venham a ser experienciados pela adoção de itens “barateados” e com pouca qualidade, sendo, portanto, uma medida válida quando a confiabilidade não é sensivelmente influenciada pelo processo de reciclagem ou restauração/conserto.

Quando a competição se baseia em diferenciação, políticas podem contribuir de forma a prover vantagem competitiva alinhando-se a propostas de enfoque sobre certos atributos do produto, dentre os quais se relacionam mais intimamente à manutenção os aspectos de qualidade e rapidez de entrega. Novamente, medidas de efetivo impacto neste âmbito assemelham-se ao discorrido no fator-chave acerca do relacionamento com consumidores, no que diz respeito à minimização do estado defeituoso – quando este estiver atrelado à produção de baixa qualidade – em conjunto com a maximização da disponibilidade do componente/equipamento para produção, com enfoque sobre o indicador de Razão de

Disponibilidade (*RD*) e adoção de estratégias para coordenação mais enxuta das atividades de manutenção, quando comparadas à prática comum industrial.

Resumindo de modo estruturado os aspectos positivos de políticas de manutenção citados acima, como evidência de efetividade na forma de alinhamento estratégico à postura global adotada pela alta direção da organização, tem-se em termos mais gerais:

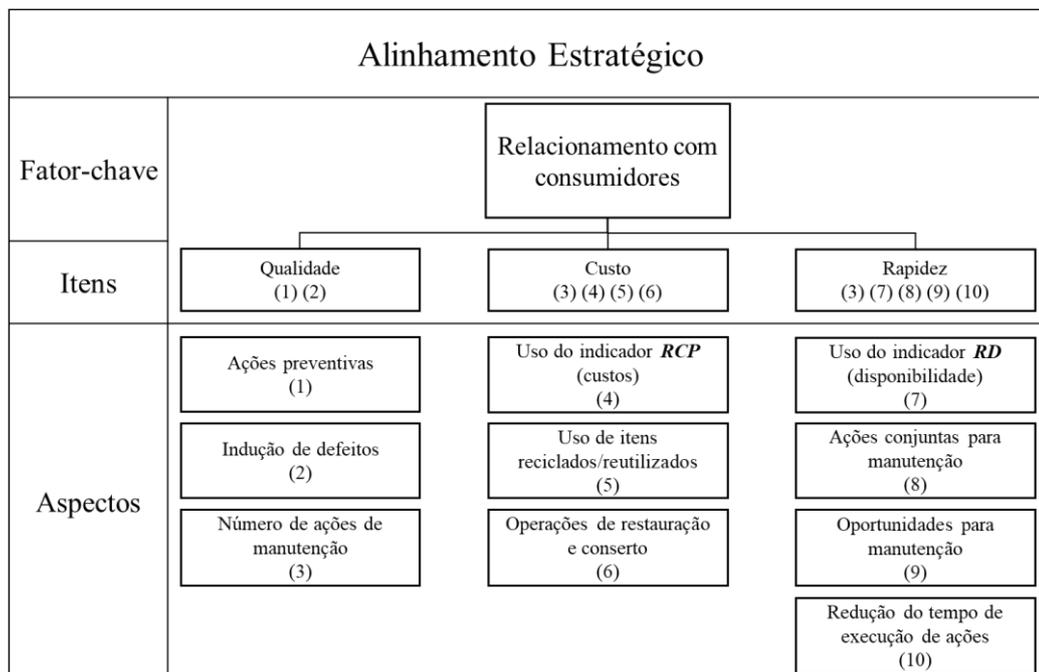
- Redução de custos totais com mensuração pela Razão de Custos por Unidade Produzida (*RCP*);
- Minimização do número de ações de manutenção;
- Uso de componentes reciclados/reutilizados;
- Priorização de ações de restauração e conserto para reintrodução de componentes já usados no sistema;
- Minimização da operação no estado defeituoso através de ações preventivas e mitigação da indução de defeitos;
- Aumento da disponibilidade total com mensuração pela Razão de Disponibilidade (*RD*);
- Coordenação mais enxuta das atividades de manutenção (ações em lote, uso de oportunidades, entre outros).

Aspectos negativos podem ser diretamente identificados com base na forma negativa das medidas listadas acima.

#### 3.4.4 Sumário Esquemático – Alinhamento Estratégico

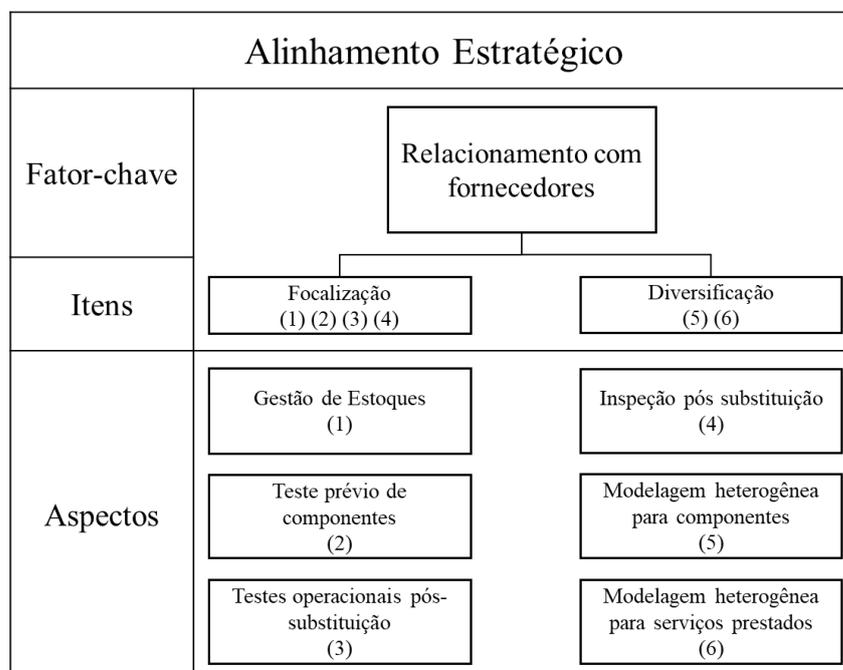
Para a dimensão de Alinhamento Estratégico do Modelo Multidimensional para Avaliação da Efetividade de Políticas de Manutenção, representam-se abaixo quadros esquemáticos resumindo cada um dos fatores-chave abordados (Relacionamento com consumidores, Relacionamento com fornecedores e Competição de Mercado). Similar ao estruturado para seções anteriores deste trabalho, Aspectos tratados previamente de forma extensiva são enumerados e listados em afirmações generalizadas (não positivas ou negativas). Finalmente, uma categorização em Itens é realizada através de índices numéricos.

Figura 16 - Esquemático do fator-chave "Relacionamento com consumidores" para dimensão "Alinhamento Estratégico"



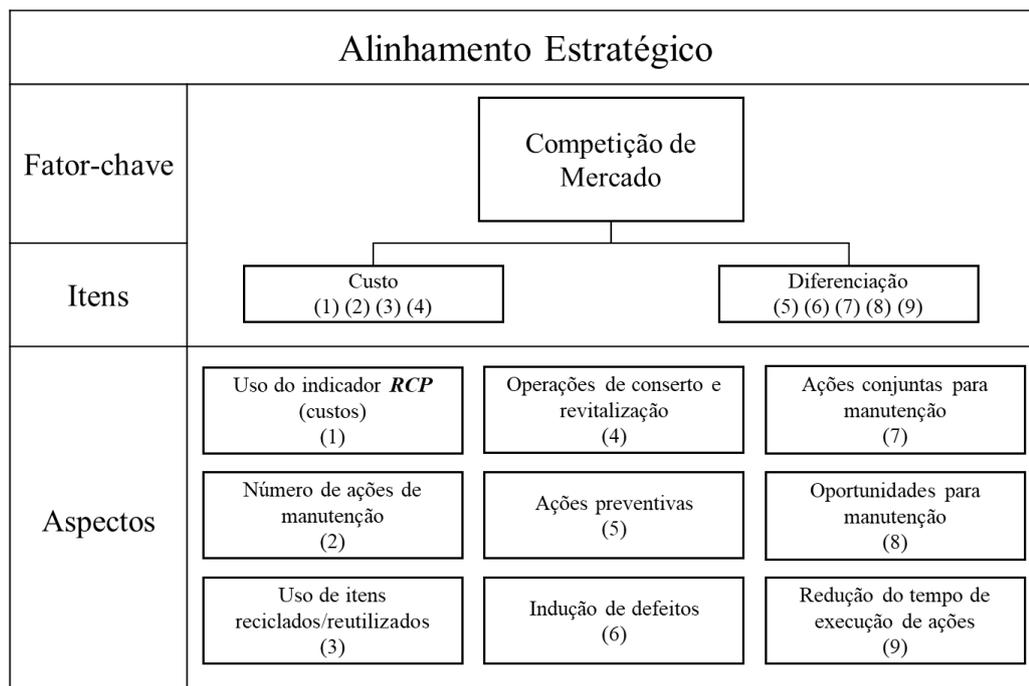
Fonte: O Autor (2020).

Figura 17 - Esquemático do fator-chave "Relacionamento com fornecedores" para dimensão "Alinhamento Estratégico"



Fonte: O Autor (2020).

Figura 18 - Esquemático do fator-chave "Competição de Mercado" para dimensão "Alinhamento Estratégico"



Fonte: O Autor (2020).

Destaca-se que, para a presente dimensão de efetividade, não é proposta a representação de Grupos de Relevância, uma vez que a identificação de posturas estratégicas já possibilita um processo de seleção e focalização sobre certos Aspectos elencados.

#### **4 FRAMEWORK PARA AVALIAÇÃO MULTIDIMENSIONAL DA EFETIVIDADE DE POLÍTICAS DE MANUTENÇÃO**

Consolidando os objetivos traçados para este trabalho, propõe-se nesta seção um *Framework* sucinto com a finalidade de avaliar de maneira prática a efetividade de políticas de manutenção, utilizando-se para isso todo o arcabouço extensivo e metodológico desenvolvido em tópico anterior, no tocante ao Modelo Multidimensional para Avaliação da Efetividade de Políticas de Manutenção. Configura-se aqui, portanto, uma sugestão de aplicação para o modelo extensivo apresentado anteriormente.

Por se tratar de um *Framework* voltado a uma avaliação multidimensional, é proposta a utilização e adaptação de conceitos próprios à Teoria de Apoio Multicritério à Decisão para auxiliar a compatibilização das diferentes esferas de análise em uma única métrica de mensuração. É observado, no entanto, que o desafio aqui estabelecido se diferencia de uma problemática comum em Decisão Multicritério, o que reforça a necessidade de adaptações sobre a teoria pertinente para uma melhor adequação ao presente escopo. Mais especificamente, observa-se que o *Framework* aqui intencionado não corresponde, em sua essência, a um problema de decisão, uma vez que não existem alternativas a serem escolhidas, mas sim a avaliação de uma única política de manutenção contemplada sob diferentes dimensões de efetividade. Sendo assim, não é da intenção do presente estudo avaliar de maneira comparativa ou relativa políticas diversas e/ou concluir acerca da melhor escolha para uma determinada aplicação, o que envolveria um processo de prospecção de modelos e combinação de fatores muito complexo e potencialmente inviável. Restringe-se o presente escopo, portanto, a avaliar uma única política previamente especificada, considerando-se um contexto prático também pré-determinado para sua execução. Além disso, o *Framework* proposto se desenvolve numa estrutura de múltiplos níveis, de forma que a metodologia multidimensional deve ser adaptada para lidar com subníveis em cada atributo. A existência de grupos de relevância para políticas de manutenção, quando aplicadas em certos contextos particulares, eleva a complexidade da modelagem, exigindo uma abordagem que permita regular o que seriam “níveis de preferência” associados a elementos componentes de um “sub atributo”.

O caráter sucinto da estrutura aqui proposta é afetado pelo extenso desenvolvimento que baseia este *Framework*, considerando que se trata de uma visão mais generalizada possível, aplicável aos mais diversos cenários práticos onde uma política de manutenção pode ser implementada. Essa relativa extensão mostra-se compensada pelo fato de que, sob

premissa que políticas de manutenção apresentam uma execução prolongada no sistema em medida de anos, a intenção pela avaliação e decisão por um determinado regime não é algo recorrente por parte da Manutenção, parecendo assim viável dedicar um esforço considerável numa análise abrangente e minuciosa tal qual proposta nesta seção. Apesar de ser voltado para uma provável execução por parte de uma gerência especializada em Manutenção – característica de organizações bem desenvolvidas e segmentadas em suas Funções – o *Framework* proposto mantém sua simplicidade adaptativa, podendo ser apropriadamente compatibilizado para situações em que uma avaliação mais superficial e rápida, por vezes em caráter didático, qualitativo e informativo, se mostra mais pertinente e/ou viável.

Finalmente, é preciso ressaltar o propósito do escopo aqui trabalhado. Não é da intenção do presente estudo trazer uma metodologia “comprovadamente otimizada” para a avaliação multidimensional de políticas de manutenção, muito menos se exige uma rigidez teórica elevada no tocante à utilização de conceitos caros à Teoria de Apoio Multicritério à Decisão. A finalidade, portanto, constitui em utilizar-se de conceitos que venham a se mostrar úteis na abordagem de avaliação em caráter multidimensional, de forma básica e ainda embrionária, almejando simplesmente construir um guia instrutivo qualitativo e um único valor numérico na forma de *score* que permitam ao gerente de manutenção ponderar acerca da efetividade global de uma política de manutenção atualmente operacionalizada ou sob vias de implementação na organização, ainda assegurando, entretanto, que este processo se dê de forma consistente. Por se tratar de um estudo ainda inicial e pioneiro nesta metodologia generalizada, um rigor elevado não é ainda almejado na elaboração de parâmetros que constroem a mensuração multidimensional, deixando assim um vasto escopo para futuros trabalhos que se empenhem na aplicação prática industrial e otimização das métricas aqui concebidas. Novamente, ressalta-se que, devido às adaptações necessárias sobre métodos clássicos da Teoria Multicritério em função dos desafios particulares deste desenvolvimento – tal qual previamente destacado, um esforço considerável é empregado para compatibilizar exigências e condições para uma aplicação consistente de alguns conceitos pertencentes ao campo do conhecimento MCDA. Reconhece-se, portanto, que a última etapa que compreende este *Framework* prático – no tocante à construção quantitativa de um único *score* para mensuração de efetividade – nada mais é do que uma sugestão a diversas outras técnicas de quantificação que poderiam ser utilizadas com base na conveniência do decisor ou usuário.

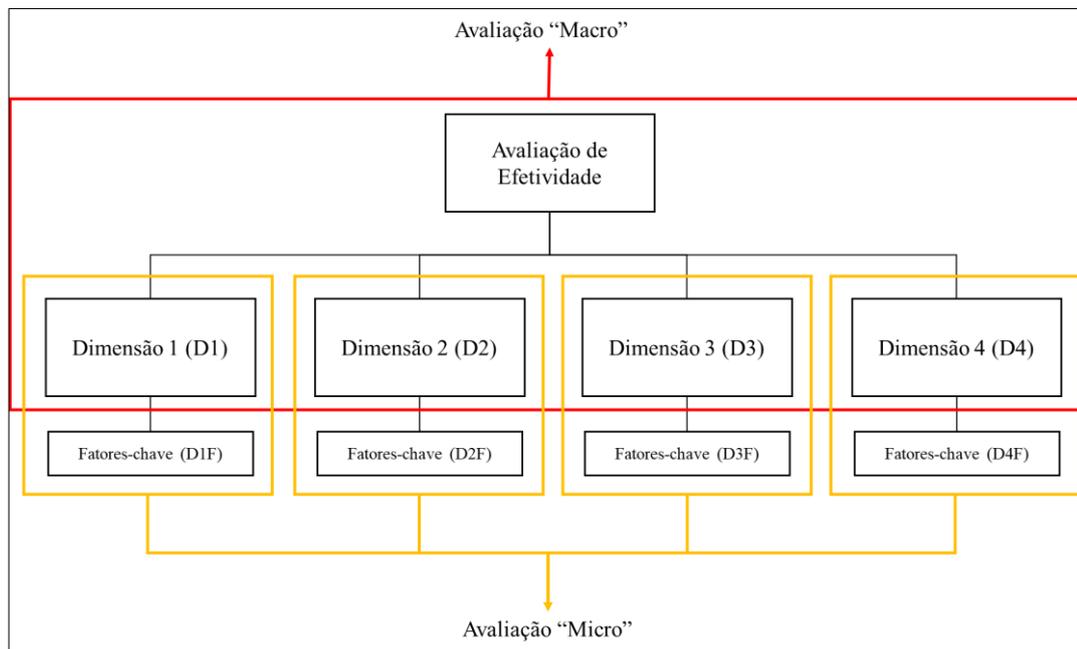
Este tópico encontra-se segmentado da seguinte maneira: na primeira seção, discorre-se sobre a estrutura básica da metodologia multidimensional previamente desenvolvida neste trabalho, dividindo a problemática original em subproblemas que incorporam conceitos e

métodos úteis relativos à Teoria de Apoio Multicritério à Decisão. Na segunda seção, um passo a passo é construído para avaliar a efetividade de uma política de manutenção, considerando seu contexto prático de aplicação e percepções do gerente de manutenção. Todas as etapas para a mensuração global com métrica única de efetividade são devidamente segmentadas e discutidas. Tratados extensivos acerca de cada uma das dimensões consideradas, bem como todos os seus respectivos questionamentos e inquirições junto ao gerente de manutenção, são trazidos de maneira estruturada na forma de apêndices ao final deste trabalho. Para maiores informações acerca do escopo que fundamenta este Framework, nas suas mais diversas segmentações, aponta-se ao Modelo Multidimensional para Avaliação da Efetividade de Políticas de Manutenção desenvolvido em detalhe no tópico anterior deste trabalho.

#### **4.1 Metodologia Multidimensional**

A metodologia multidimensional proposta para agregação das múltiplas esferas aqui tratadas como componentes da efetividade global de políticas de manutenção, nos seus mais diversos contextos operacionais, baseia-se na estrutura desenvolvida no Modelo Multidimensional, segundo sumários esquemáticos previamente construídos para cada Dimensão discutida no tópico anterior deste trabalho (Figuras 7 a 18). De uma maneira generalizada, visualiza-se a segmentação do Modelo Multidimensional dentro de dois “níveis” de avaliação, como mostra a Figura 19:

Figura 19 - Segmentação generalizada do Modelo Multidimensional com formulação em dois níveis de avaliação



Fonte: O Autor (2020).

Como pode ser observado, a segmentação proposta pelo Modelo Multidimensional divide-se basicamente entre Dimensões (num total de quatro) e Fatores-chave (em número não constante para cada Dimensão, portanto aqui representados em termos gerais no plural). Mais detalhadamente, existe uma subdivisão de cada Fator-chave em “Itens” e “Aspectos” – adicionada a modelagem ocasional de “Grupos de Relevância” que influenciam alguns desses elementos – traduzindo em termos mais “tangíveis” a avaliação da efetividade de políticas de manutenção. Tal detalhamento, no entanto, torna-se omitido numa visualização global, pelo fato de se tratar de estruturas delineadas teoricamente e de modo particular a cada fator-chave, buscando-se assim minimizar a complexidade da metodologia multidimensional para um gerente de manutenção que se propõe a contemplar o processo de avaliação.

Ainda de modo a facilitar o procedimento de agregação multidimensional, é proposta uma divisão em dois níveis de avaliação que se relacionam em “cascata”, um denominado “Macro” e outro “Micro”. A intenção é que, uma vez consolidada a avaliação inicial “Macro” referente às Dimensões de Efetividade, o gerente de manutenção avaliador – assessorado durante todo o decorrer deste Framework por um analista capacitado no Modelo proposto – se aprofunde no processo através de uma mensuração “Micro” mais direcionada a cada fator-chave dentro de cada uma das dimensões previamente analisadas. A seguir, é trazida uma breve discussão generalizada de cada uma dessas avaliações, com ênfase para a incorporação e adaptação de elementos característicos da Teoria de Apoio Multicritério à Decisão na

metodologia proposta. Uma abordagem mais específica para cada procedimento é discorrida em seção seguinte deste tópico.

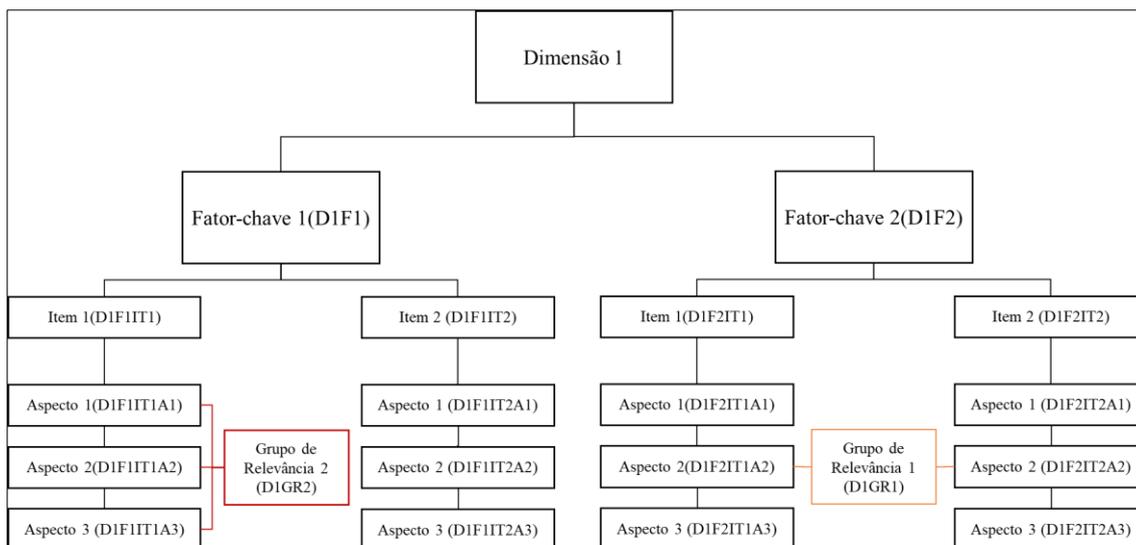
É fundamental evidenciar, antes da descrição da metodologia propriamente dita, a opção pela exploração do Método Aditivo de Apoio Multicritério à Decisão, com racionalidade compensatória, como inspiração maior para o desenvolvimento deste Framework. Seus conceitos são, portanto, adaptados e aplicados ao decorrer de todo o processo de avaliação e agregação de resultados. Na avaliação “Macro”, é estabelecido como objetivo a análise em primeira instância das diversas Dimensões de Efetividade tal qual propostas no Modelo Multidimensional, tendo como *output* final dessa etapa valores numéricos que traduzem a importância relativa de cada dimensão na avaliação global, segundo o contexto prático no qual a política se insere e de acordo com as percepções do avaliador (assim denominado o gerente de manutenção que realiza o processo, daqui em diante). É pertinente, nesse sentido, atribuir aqui o conceito de “atributos” às diversas dimensões elencadas, que constituem assim os critérios para a avaliação geral de efetividade. Embora não existam alternativas a serem consideradas, utiliza-se aqui a ideia proveniente do *Value-focused thinking* (Keeney, 1992), que associa o propósito global do procedimento multicritério a um dado objetivo estratégico (aqui relacionado à própria avaliação de efetividade de uma dada política de manutenção) e cada atributo a um respectivo objetivo fundamental (que aqui se traduz pela modalidade de avaliação intencionada por cada dimensão). Considerações sobre o reflexo de cada um desses objetivos sobre “contextos de decisão”, tal qual na proposta *VFT*, não se fazem aqui pertinentes, uma vez que não existe um campo de alternativas para escolha.

Uma vez formuladas tais associações, propõe-se uma metodologia de elicitación, junto ao avaliador, das importâncias relativas de cada dimensão de efetividade, que incorpora assim o conceito de “constantes de escala” para cada uma das dimensões estruturadas. Adota-se, para tanto, uma adaptação ao procedimento de elicitación do tipo *Swing* (ALMEIDA, 2013) com a finalidade de direcionar o avaliador à construção de valores numéricos que representem a relevância de cada dimensão de efetividade dentro da avaliação global de sua política considerada. É sabido que, na sua concepção teórica mais rigorosa, o Método *Swing* prevê o conhecimento do espaço de consequências das alternativas consideradas, de maneira prévia ao início das inquisições junto ao decisor, de forma a auxiliar os julgamentos de valor e garantir a consistência das constantes obtidas. A não-observação deste aspecto, tal como ressalta Edwards (1994), constitui um “erro intelectual” ou fundamental. No entanto, devido ao fato da avaliação de efetividade aqui proposta ser uma medida de proximidade a uma alternativa

fictícia com desempenho “ótimo/ideal/perfeito” – não havendo campo real de alternativas no presente Framework – o procedimento passa a ser embasado pelo julgamento acerca da distância entre o nível mais baixo e mais alto de cada dimensão, ao contrário de um possível apontamento de uma alternativa entre várias que apresentaria o caráter global de mais efetivo (o que obrigatoriamente consideraria a dispersão de performance nas alternativas existentes). Combinado ao desconhecimento – até o presente momento do processo de avaliação prática – das consequências que caracterizam o desempenho da política de manutenção sendo analisada nas mais diversas dimensões aqui formuladas, propõe-se contornar essa problemática/particularidade pontual através do trabalho de informação por parte do analista acerca do desenvolvimento extensivo proposto no Modelo Multidimensional. Sendo assim, este facilitador do processo de elicitação “alimenta” o avaliador com descrições acerca do propósito e características de uma elevada/“perfeita” performance em cada uma das dimensões de efetividade, propiciando assim que este construa mentalmente as necessárias “alternativas fictícias” seletivamente ótimas/não-ótimas nas mais diversas dimensões, o que permite o prosseguimento consistente das inquisições próprias do procedimento *Swing*. Ressalta-se, nesta fase, a possibilidade de elicitação de uma constante nula (valor numérico igual a zero) para uma determinada dimensão, o que implica na sua desconsideração para as fases posteriores de avaliação e mensuração global de efetividade.

Passando para a segunda etapa “Micro” de avaliação, nesta o objetivo torna-se concretamente mensurar a efetividade de uma determinada política de manutenção em cada dimensão não-nula do Modelo Multidimensional, ainda em acordo com seu contexto prático de aplicação e percepções do avaliador. Para tanto, é necessário um maior detalhamento da segmentação do modelo proposto, com recorte para uma dimensão generalizada, tal qual representado na Figura 20:

Figura 20 - Segmentação generalizada do Modelo Multidimensional em avaliação "Micro"



Fonte: O Autor (2020).

Como pode ser observado, agora novos elementos que detalham os fatores-chave são elencados, em quantidade genérica, no que se refere a “Itens”, “Aspectos” e “Grupos de Relevância”. “Itens” nada mais são do que aglomerados de “Aspectos” que apresentam familiaridade na sua concepção teórica, enquanto que “Grupos de Relevância” são elementos que retratam classes específicas de sistemas operacionais onde a aplicação de uma política de manutenção tem sua efetividade intimamente relacionada aos “Aspectos” que se ligam ao dado Grupo. Finalmente, “Aspectos” são elementos diretamente observáveis em políticas de manutenção, cuja implementação na sua forma positiva contribui para uma avaliação em prol da efetividade.

Formulando uma metodologia para agregação multicritério em uma dimensão qualquer, passa-se a considerar aqui como “atributos” os fatores-chave. Novamente, seguindo a proposta de correspondência entre objetivos e critérios proveniente do *VFT*, a cada fator-chave passa a ser associado um objetivo fundamental, que traduz a intencionalidade da avaliação de efetividade deste fator, enquanto o objetivo atrelado à dimensão – antes considerado como fundamental na análise “Macro” – torna-se o propósito estratégico da atual avaliação. Novamente, é desejado obter a importância relativa de cada fator-chave, de acordo com as percepções do avaliador, desta vez em concordância com a identificação de itens e grupos de relevância que se fazem pertinentes à avaliação da política de manutenção, dado seu contexto operacional. Por isso, numa etapa inicial da avaliação “Micro”, novamente o procedimento *Swing* é implementado sob as mesmas justificativas acerca das compatibilizações envolvendo o papel informativo do analista, com o intuito de garantir a

consistência das constantes obtidas. Este facilitador passa então a fornecer direcionamentos acerca de cada Fator-chave (seu propósito de avaliação, elementos de uma performance “perfeita” no seu escopo), que por sua vez permitem a visualização, por parte do avaliador, das chamadas “alternativas fictícias” que fundamentam os julgamentos de valor durante o procedimento *Swing*. Dá-se sequência a esse processo através de uma série de perguntas (fechadas, com respostas possíveis “sim” ou “não”) explicitadoras da relevância de Itens sobre a dimensão em análise. A intenção, nesse procedimento de elicitação e explicitação, é de, além de estabelecer o “grau de importância” relativo de cada Fator-chave em relação aos demais pertencentes à mesma dimensão, “ativar” os devidos Itens que compreendem os Aspectos relevantes a serem considerados na avaliação, omitindo aqueles não julgados como pertinentes por parte do avaliador (tendo sempre em mente o contexto operacional de aplicação).

Observa-se que, em função da associação entre Itens e Aspectos pertencentes a determinado Fator-chave, tal elicitação acaba por funcionar como uma espécie de “teste de consistência”, como comumente se emprega em Modelos de Apoio Multicritério à Decisão. Isto porque, caso um Item seja ativado (tido como relevante pelo avaliador), obrigatoriamente o Fator-chave que o contém deve ser considerado também relevante (constante de escala deve ser elicitada como diferente de zero, pelo procedimento *Swing*), ao mesmo tempo que relevância positiva atribuída a um Fator-chave não pode ser acompanhada por uma “desconsideração” de todos os Itens que o compõe. Ambos os cenários se tornam indicativos de inconsistências por parte do avaliador, recebendo este prontamente a recomendação de reinício do processo de elicitação na dimensão analisada. Seguindo o procedimento, novas perguntas explicitadoras fechadas passam a identificar se o contexto operacional sob o qual a política de manutenção é contemplada se enquadra dentro de algum Grupo de Relevância delineado para a dimensão sob análise. Mais uma vez, esse procedimento funciona como uma espécie de teste de consistência, visto que todos os Fatores-chave que englobam Aspectos atrelados a algum Grupo de Relevância considerado positivamente como representativo do atual contexto operacional devem ser considerados como relevantes.

Finalizada a etapa de identificação de Itens, estabelecimento de constantes de escala relativas entre Fatores-chave e associação a possíveis Grupos de relevância, passam-se aos Aspectos tidos então como “relevantes” para a avaliação de efetividade (obtidos em consequência da delimitação anterior dos Itens relevantes). Nessa nova fase, cada Aspecto relevante, em sua formulação positiva, passa a ser tratado como uma espécie de “atributo construído” representativo da adoção de uma medida que contribui com a efetividade da

política sendo avaliada. Esta formulação se justifica pelo fato dos Aspectos traduzirem medidas diversas, em caráter predominantemente qualitativo, dificilmente representados por alguma métrica natural. De maneira simplificada, a cada Aspecto associa-se uma escala numérica do tipo intervalar, que confere uma pontuação de 0 a 5 para a implementação da medida que contribui com a efetividade da política. Como resultado, obtém-se para cada Fator-chave uma consequência numérica, representada pela composição (soma) das pontuações conferidas a todos os Aspectos relevantes que o compõe. Tal metodologia, um tanto quanto diferenciada em relação ao escopo natural da Teoria Multicritério, acaba por se tornar o processo de “avaliação intracritério” durante a fase Micro, onde cada atributo é observado como sendo um Fator-chave e seus respectivos Aspectos relevantes compõem sua consequência. Para normalização das consequências de um Fator-chave, introduz-se uma ideia adaptada do procedimento de normalização “2”, tal qual classificação de Almeida (2013), interpretado aqui como uma “divisão ponderada pelo valor máximo”. Nessa proposta, a pontuação de cada aspecto relevante é primeiramente multiplicada por um “índice de criticidade” que representa uma possível associação a algum(uns) Grupo(s) de relevância, sendo posteriormente combinadas (soma) e então divididas pela pontuação máxima possível para este Fator-chave.

Uma observação é pertinente para o caso de Fatores-chave puramente quantitativos, como é o caso da dimensão de Nível de Melhoria Operacional. Nestes, perguntas explicitadoras avaliam quais indicadores são considerados relevantes para o contexto de aplicação e política sendo analisada, de acordo com as percepções do avaliador. Uma vez selecionados, tais indicadores são calculados para os dados da política em consideração, tendo seus *outputs* numéricos convertidos em níveis da escala numérica intervalar (de 0 a 5) como representativos da “satisfação” do Departamento de Manutenção com os resultados alcançados. Novamente, a nota final do Fator é dada como a proporção atingida em relação a pontuação máxima possível.

Finalmente, concluída a segunda avaliação “Micro” para cada dimensão pertinente, é possível obter a nota global de efetividade de uma determinada política de manutenção agregando os resultados obtidos segundo uma proposta de Agregação Aditiva, devidamente adaptada para o formato de “subníveis em cascata” no que se refere aos atributos tais quais modelados nesta presente metodologia. Para isso, a nota é construída numa perspectiva “*bottom-up*”, partindo de cada Fator-chave até o *score* global combinado de todas as dimensões em avaliação. Levantada a proporção (normalizada) da pontuação atingida envolvendo os Aspectos relevantes de cada Fator-chave, o que resulta em um valor entre 0 e

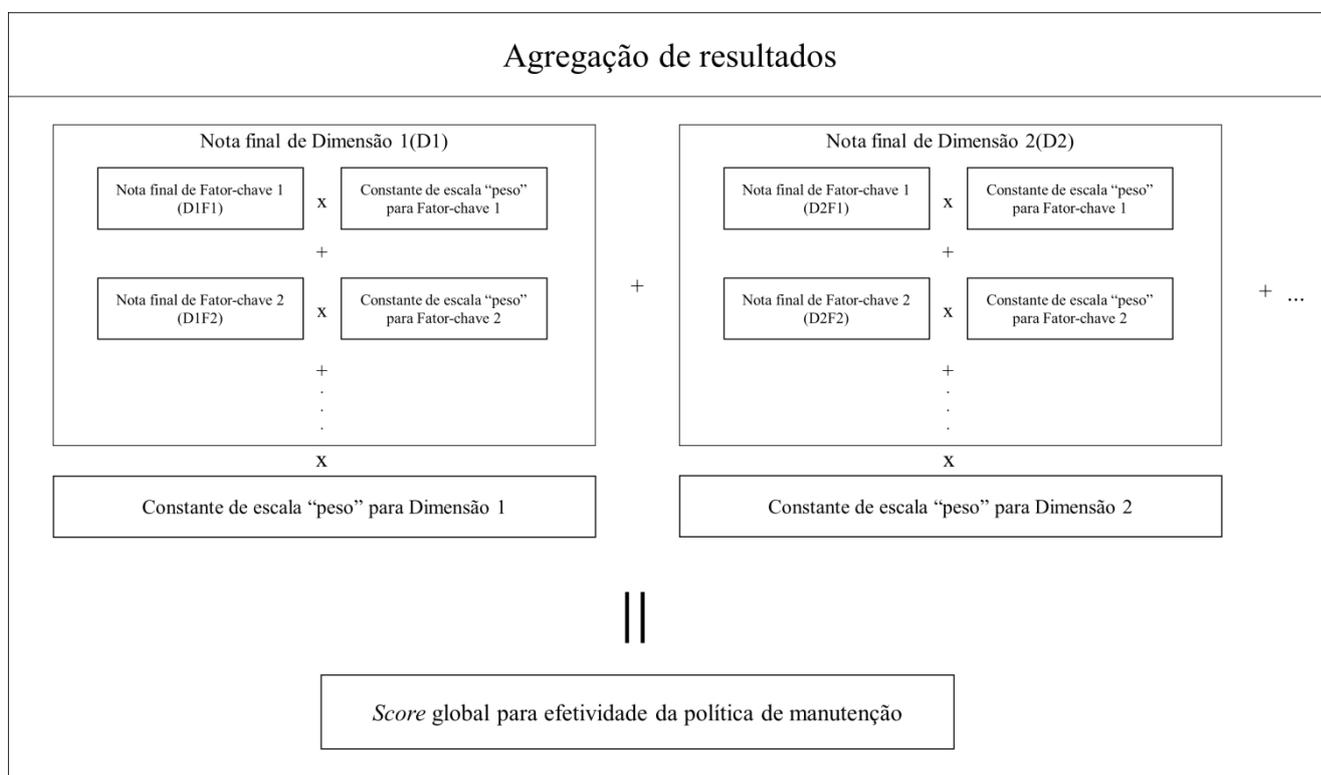
1, a nota geral de uma dada dimensão é obtida pela soma dos produtos das pontuações dos Fatores-chave pelas suas respectivas constantes de escala. Iterativamente, a soma dos produtos das notas gerais de cada dimensão pelas suas respectivas constantes de escala fornece um valor numérico global para a efetividade da política de manutenção, na forma de métrica única de avaliação coerente e sucinta, no intervalo entre 0 e 1, segundo o Modelo Multidimensional extensivo e Metodologia Multidimensional aqui propostos. Observa-se assim que, quanto mais próximo da unidade o *score* obtido, maior a efetividade avaliada para a política em consideração, de modo que o valor máximo (um) poderá ser atingido caso todos os Aspectos relevantes sejam avaliados como adotados em nível máximo de implementação efetiva.

É de se ressaltar o caráter “instrutivo” qualitativo no Modelo Multidimensional e Framework aqui desenvolvidos. Após as etapas de elicitação junto ao avaliador, a contemplação da lista de Aspectos relevantes a serem considerados, juntamente com sua associação a Grupos de relevância dentro da estrutura segmentada, promovem um “mapa” estruturado de medidas favoráveis à efetividade e possíveis de serem implementadas na política de manutenção, sob vistas ao contexto prático organizacional observado. Nessa abordagem, Aspectos relevantes são tomados em sua forma positiva como recomendações ou ainda *guidelines* que visam a concepção de uma política efetiva por parte do Departamento de Manutenção.

Para facilitar o entendimento, representa-se esquematicamente nas Figuras 21, 22 e 23 as etapas operacionais da Metodologia Multicritério que constituem o presente Framework para agregação das diferentes esferas de efetividade, tal qual proposto pelo Modelo Multidimensional:



Figura 23- Terceira Etapa Operacional da Metodologia Multicritério para Avaliação da Efetividade de Políticas de Manutenção



Fonte: O Autor (2020).

#### 4.2 Procedimento para avaliação multidimensional da efetividade de políticas de manutenção

Nesta seção, discorre-se de maneira linear e ordenada o fluxo do processo para avaliação multidimensional de políticas de manutenção, em acordo com as etapas operacionais propostas na seção anterior deste trabalho. Através de um desenvolvimento detalhado e aplicado sobre o Modelo Multidimensional descrito em tópico anterior, o passo-a-passo aqui apresentado busca tratar de maneira assertiva e inequívoca a avaliação de políticas junto ao gerente de manutenção. Exemplos ilustrativos e resumidos são traçados incrementalmente para aumentar a compreensão do framework, de forma que tratados extensivos e completos no que tange a todas as dimensões e respectivos subníveis são apropriadamente desenvolvidos nos apêndices deste trabalho.

De maneira objetiva, apresenta-se uma subdivisão do procedimento seguindo-se as etapas operacionais previamente estabelecidas (Avaliação “Macro”, Avaliação “Micro” e Agregação de Resultados). Em todo o desenvolvimento, um gerente ou equipe de Gestão da

Manutenção é tomado como avaliador para corresponder às requisições elaboradas ao longo do framework. Um analista é encarregado de guiar o processo junto ao avaliador, sendo responsável por conduzi-lo ao longo de toda a metodologia prática de avaliação bem como por fornecer informações e diretrizes teóricas que são delineadas no Modelo Multidimensional proposto no tópico anterior deste trabalho, que por sua vez embasam alguns procedimentos práticos deste Framework.

#### 4.2.1 Avaliação “Macro”

Nessa primeira etapa, dois processos (conforme detalhado na Figura 21) são propostos com a finalidade de inicialmente familiarizar o avaliador com a proposta de avaliação de efetividade e dimensões a serem abordadas. Após os devidos esclarecimentos, é conduzido um procedimento adaptado *Swing* para elicitación de constantes de escala, que passam a representar numericamente a importância relativa de cada dimensão de efetividade proveniente do Modelo Multidimensional, de acordo com a ponderação do avaliador e contexto prático operacional da política de manutenção em análise.

##### 4.2.1.1 *Familiarização do avaliador com Proposta de Avaliação de Efetividade:*

Em um primeiro contato, é fundamental transmitir ao avaliador o norteamento da proposta a ser conduzida, enfatizando assim o objetivo estratégico por trás do framework a ser seguido: avaliar a efetividade de uma política de manutenção propriamente selecionada, já em atuação no contexto industrial observado ou ainda em vias de adoção para gerenciamento de algum equipamento ou componente desse contexto industrial.

Importante salientar que o procedimento como um todo trata da avaliação de uma única política já formulada e considerada para análise pelo próprio avaliador, não sendo intencionado assim a recomendação final de uma política ótima dentro de um conjunto de “regimes candidatos” para um dado contexto operacional. Ainda assim, um estágio intermediário do framework de avaliação (a ser sinalizado neste passo-a-passo) pode ser devidamente formulado como um conjunto de *guidelines* que por sua vez pode prover uma instrução qualitativa para uma possível futura concepção de política própria e otimizada ao contexto industrial observado. Por se tratar de uma visão generalizada, é de se esperar que a muitos módulos e subníveis de dimensões de efetividade sejam associadas pouca relevância ou ainda desconsiderem-se certos elementos da estrutura de avaliação. Isso acontece de

maneira bastante natural, buscando focalizar itens efetivamente cruciais na avaliação da política sob vistas ao seu contexto prático de operacionalização e *expertise* introduzida pelo avaliador.

Tabela 4 - Objetivo Estratégico da Avaliação "Macro"

<b>Objetivo estratégico “Macro”</b>	Avaliar a efetividade de uma política de manutenção selecionada
-------------------------------------	---

Fonte: O Autor (2020).

#### 4.2.1.2 Familiarização do avaliador com Dimensões:

Progredindo para um segundo processo, agora busca-se familiarizar o avaliador com a existência de múltiplas dimensões para avaliação da efetividade da determinada política, novamente ressaltando que potencialmente nem todas serão relevantes para o contexto analisado. Importante aqui é compreender que cada dimensão constitui um objetivo fundamental dentro do problema “Macro” sendo trabalhado, segundo as prerrogativas da Tabela 5.

Tabela 5 - Objetivos Fundamentais da Avaliação "Macro"

<b>Objetivos fundamentais “Macro”</b>	
<b>Dimensão</b>	<b>Objetivo Fundamental</b>
Nível de Melhoria Operacional	Avaliar a melhoria de índices operacionais pela adoção da política de manutenção
Qualidade dos Recursos de Manutenção	Avaliar a qualidade dos recursos empregados pela política de manutenção
Esforço Gerencial	Avaliar o esforço da gerência em operacionalizar a política de manutenção
Alinhamento Estratégico	Avaliar o alinhamento da política de manutenção com a Estratégia Corporativa da organização

Fonte: O Autor (2020).

#### 4.2.1.3 Elicitação das constantes de escala para Dimensões:

No terceiro processo, realiza-se uma elicitación junto ao avaliador para determinar constantes de escala relacionadas a cada uma das dimensões de avaliação de efetividade. É importante a compreensão de tais constantes enquanto importância relativa de cada dimensão na avaliação global de efetividade, sendo este o propósito da presente elicitación. Para tanto,

propõe-se um procedimento de *Swing*, com algumas adaptações ao Framework sendo desenvolvido.

Como afirmado anteriormente, para compatibilizar o procedimento e mitigar inconsistências, modela-se uma adaptação ao modelo tradicional *Swing*, no que tange à etapa preliminar que “exige” o conhecimento do espaço de consequências do atual problema de decisão e ponderação acerca de alternativas fictícias que representam seletivamente o melhor/pior desempenho em atributos do problema multicritério. Tendo em vista que o problema de avaliação aqui abordado engloba apenas uma única “alternativa” e que, no momento deste presente procedimento de elicitação, consequências para os atributos – que constituem aqui as Dimensões de efetividade – são desconhecidas, fundamentado nas prerrogativas previamente elencadas, emprega-se uma etapa inicial (aqui chamada “Etapa 0”) de interação entre analista e avaliador. Nesse momento, o analista “expert” no Modelo Multidimensional – na sua formulação teórica tal qual proposto no tópico anterior deste trabalho – informa o avaliador acerca do propósito de avaliação de cada Dimensão, direcionando-o sobre o que representariam as amplitudes de efetividade “máxima” e “mínima” em cada uma destas (isso é tratado extensivamente no Modelo Multidimensional). A partir desta comunicação, o avaliador fica então munido de ferramentas para mentalizar os chamados “cenários fictícios” próprios ao procedimento de *Swing*, que compreendem alternativas hipotéticas que teriam pior performance possível em todas os atributos ou teriam performance melhor possível em apenas algum(ns) critério(s), tendo pior desempenho possível nos demais.

Seguindo o *Swing* – a partir de agora no seu procedimento convencional, a elicitação é proposta em duas etapas. Na primeira, o avaliador é questionado de forma a prover iterativamente um ordenamento de importância entre as diversas dimensões, através da seguinte requisição:

*“Suponha que, considerando esta política e seu contexto de aplicação, você pudesse melhorar sua efetividade ao máximo em apenas uma das dimensões estabelecidas. Qual dimensão você escolheria?”*

A resposta dessa pergunta identificará a dimensão com maior importância para avaliação da efetividade, considerando a dada política e seu contexto operacional. Iterativamente, são feitos novos questionamentos nessa mesma estrutura, restringindo o conjunto das dimensões “maximizáveis” àquelas ainda não apontadas em rodadas anteriores. Finalmente, obtém-se uma ordenação das dimensões estabelecidas pelo Modelo em caráter de importância relativa. Na segunda etapa, propõe-se a valorar numericamente cada uma das

dimensões previamente ordenadas, atribuindo-lhes assim “pesos”. Para tanto, utiliza-se uma escala de 0 a 100, automaticamente configurando o peso da primeira alternativa na ordenação prévia como 100. Em seguida, iterativamente, realizam-se questionamentos ao avaliador, na forma:

*“Nesta escala de 0 a 100, qual é o peso da próxima dimensão mais importante?”*

O que permite obter valores para cada uma das dimensões do framework, num intervalo entre 0 e 100. Finalmente, as notas são normalizadas na forma de proporção em relação ao total de pontuação conferida durante o procedimento, o que acaba por formar um *score* de 0 a 1 para cada uma das dimensões. Tem-se assim a elicitación da importância relativa de cada dimensão. Deve-se ressaltar, nesta segunda etapa, que dimensões consideradas irrelevantes para avaliação de efetividade da política de manutenção podem, sem nenhum comprometimento ao presente Framework, receber valorização nula (zero), o que implica na desconsideração destas nas etapas operacionais posteriores de avaliação segundo o framework proposto.

Esquemáticamente, tem-se o processo de elicitación com base no procedimento *Swing* tal qual demonstrado na Tabela 6.

Tabela 6 - Elicitação das constantes de escala das Dimensões pelo procedimento "swing"

<b>Elicitação para Fatores-chave via <i>swing</i></b>		
<b>Etapa</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Questionamento</b>
0	Informar avaliador sobre propósito de avaliação das Dimensões e prover direcionamento acerca de efetividade máxima e mínima em cada uma destas, de acordo com Modelo Multidimensional	--
1	Ordenar Dimensões de Efetividade com base no grau de importância relativa	“Suponha que, considerando esta política e seu contexto de aplicação, você pudesse melhorar sua efetividade ao máximo em apenas uma das dimensões estabelecidas/restantes. Qual dimensão você escolheria?”
2	Valorar numericamente Dimensões de Efetividade com base no grau de importância relativa e ordenação prévia	“Nesta escala de 0 a 100, qual é o peso da próxima dimensão mais importante?”

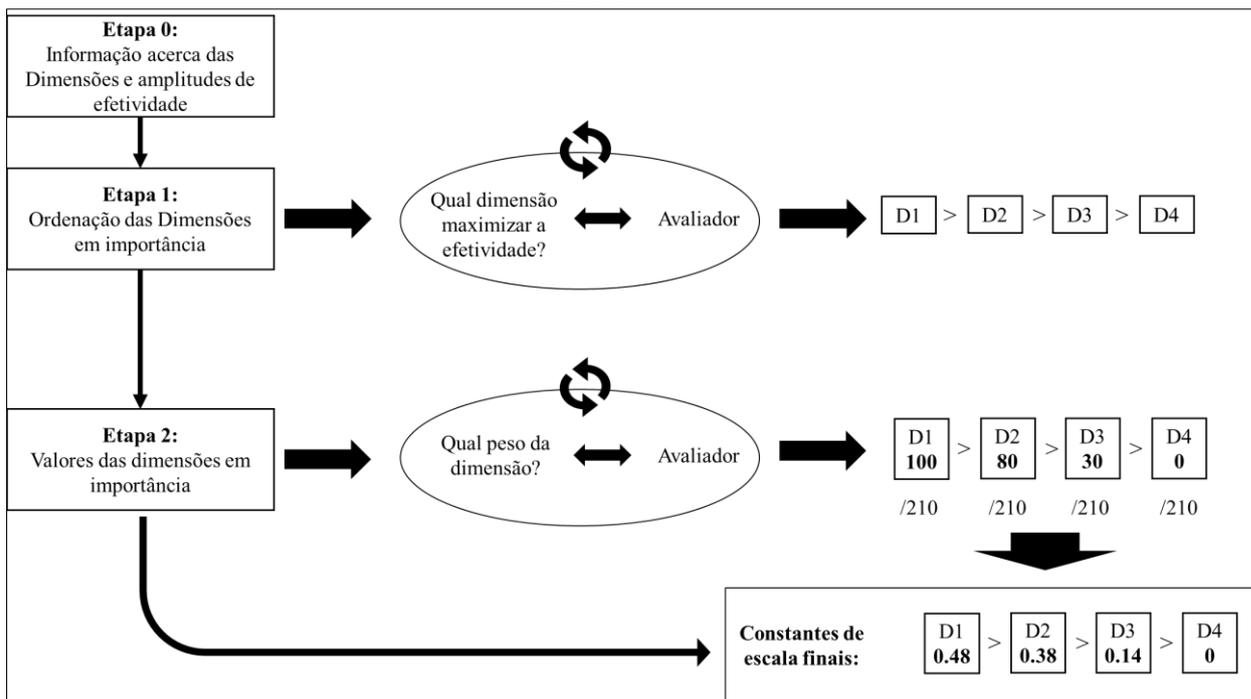
Fonte: O Autor (2020).

Como pode ser observado, a etapa preliminar (0) compreende apenas em uma fase informativa, não havendo questionamento específico junto ao avaliador. Posteriormente, as duas etapas convencionais ao *Swing* são aplicadas.

#### 4.2.1.4 Exemplo ilustrativo para output de constantes de escala “peso” para cada Dimensão:

Com o objetivo de sanar possíveis questionamentos acerca do procedimento de elicitação, é ilustrado o esquema da Figura 24, que retrata de maneira hipotética todas as interações envolvidas na presente etapa.

Figura 24 - Ilustração do procedimento de elicitação das constantes de escala para Dimensões de Efetividade



Fonte: O Autor (2020).

Aqui se observa a existência da interação preliminar informativa, bem como o prosseguimento para as 2 inquirições convencionais junto ao avaliador. Procedimentos cíclicos com a finalidade de cobrir todas as dimensões do Framework são destacados. Resultados ilustrativos são representados e formulados à medida que o procedimento é executado.

#### 4.2.2 Avaliação “Micro”

Na segunda etapa operacional, foca-se individualmente cada Dimensão de Efetividade e seus respectivos subníveis, na forma de Aspectos aglomerados em Itens e seletivamente sob efeito de eventuais Grupos de Relevância. Através de oito processos (tal qual esquematizado em seção anterior deste trabalho, vide Figura 22), objetiva-se familiarizar o avaliador com a nova estrutura do problema – específica a cada dimensão – e os objetivos por trás dessa etapa, além de elicitar constantes de escala como termos relativos de grau de importância entre fatores-chave, explicitar itens e aspectos relevantes à política e contexto operacional considerados, analisar impacto de eventuais grupos de relevância, testar a consistência dos elementos elencados, atribuir pontuação a aspectos relevantes e finalmente formular um *score* global para cada fator-chave. Esse procedimento é então repetido para cada dimensão

previamente elicitada como “relevante” (constante de escala na Avaliação “Macro” diferente de zero).

#### 4.2.2.1 Familiarização do avaliador com Proposta da Dimensão:

No primeiro processo desta segunda etapa, à semelhança do que é conduzido na Avaliação “Macro”, trabalha-se a familiarização do avaliador com a então nova fase operacional. Uma compatibilização dos conceitos e diretrizes previamente estabelecidos agora se fazem necessários, adaptando ao contexto local de uma dimensão específica. Posto mais claramente, é necessário que o avaliador agora compreenda que a avaliação “Micro” será conduzida de maneira iterativa para cada dimensão considerada na primeira Avaliação como “relevante”, de modo que cada Objetivo Fundamental “Macro” se torna aqui Objetivo Estratégico de uma iteração “Micro” correspondente à respectiva dimensão para qual o objetivo fundamental foi anteriormente estabelecido.

De semelhante modo à avaliação “Macro”, se faz importante reforçar a ideia de que muitos subníveis de dimensões analisadas naturalmente apresentarão relevância reduzida – ou até mesmo anulada – em decorrência da avaliação pautada sob uma política de manutenção que se encontra aplicada a determinado contexto operacional específico.

Assumindo um contexto no qual todas as dimensões são consideradas relevantes, o procedimento de avaliação “Micro” se dá originalmente em quatro iterações, cada uma guiada por um objetivo estratégico que se associa a uma dimensão, tal qual representado na Tabela 7.

Tabela 7 - Objetivos Estratégicos de todas as iterações possíveis durante Avaliação "Micro"

<b>Iteração</b>	<b>Dimensão</b>	<b>Objetivo Estratégico</b>
1	Nível de Melhoria Operacional	Avaliar a melhoria de índices operacionais pela adoção da política de manutenção
2	Qualidade dos Recursos de Manutenção	Avaliar a qualidade dos recursos empregados pela política de manutenção
3	Esforço Gerencial	Avaliar o esforço da gerência em operacionalizar a política de manutenção
4	Alinhamento Estratégico	Avaliar o alinhamento da política de manutenção com a Estratégia Corporativa da organização

#### 4.2.2.2 Familiarização do avaliador com Fatores-Chave:

Em um segundo processo, busca-se familiarizar o avaliador com o segundo nível estrutural do Framework dentro da esfera “Micro” (vide Figura 20), no que se refere à existência de múltiplos fatores-chave para avaliação da efetividade sob a ótica de uma certa dimensão sendo iterada, novamente ressaltando que potencialmente nem todos esses fatores serão relevantes para o contexto analisado. Importante aqui é compreender que cada fator-chave constitui um objetivo fundamental dentro da iteração “Micro” sendo trabalhada. Ilustrando uma iteração sobre a dimensão de Qualidade dos Recursos de Manutenção, tem-se as seguintes definições de objetivos fundamentais, respectivas à cada fator chave, como mostra a Tabela 8.

Tabela 8 - Objetivos Fundamentais para Dimensão "Qualidade dos Recursos de Manutenção" associados a seus respectivos fatores-chave

<b>Objetivos fundamentais “Micro” – Dimensão Qualidade dos Recursos de Manutenção</b>	
<b>Fator-chave</b>	<b>Objetivo Fundamental</b>
Peças sobressalentes	Avaliar a qualidade das peças sobressalentes empregadas através de ações próprias à política de manutenção
Estrutura de Manutenção	Avaliar a qualidade da estrutura utilizada para implementar ações próprias à política de manutenção
Condições Ambientais	Avaliar a “qualidade” das condições ambientais que englobam a atuação da política de manutenção
Recursos Humanos	Avaliar a qualidade dos recursos humanos empregados na execução de ações próprias à política de manutenção

Fonte: O Autor (2020).

Devido à extensão da listagem combinada de todos os fatores-chave relativos a todas as dimensões estabelecidas no Framework e seus respectivos objetivos fundamentais traduzidos, uma relação completa desses elementos é reservada aos Apêndices incorporados neste trabalho, que tratam, cada um (de A à D), informações relativas a cada dimensão modelada.

#### 4.2.2.3 Elicitação das constantes de escala para Fatores-chave:

Semelhante ao processo de elicitação das constantes de escala para dimensões adotado na Avaliação “Macro”, aqui é proposta a formulação de uma mesma operação, visando-se desta vez o estabelecimento de coeficientes numéricos para Fatores-chave pertencentes a uma mesma iteração “Micro” (e, portanto, à mesma dimensão de efetividade). Novamente, tais valores são obtidos por um procedimento de *Swing* adaptado, representando assim a importância relativa de cada fator-chave dentro de uma dimensão. Etapa preliminar informativa, sob as mesmas prerrogativas de interação entre analista e avaliador tal qual propostas anteriormente, também são conduzidas, desta vez focalizando os Fatores-chave de uma certa dimensão, seus propósitos e amplitudes de efetividade restritas ao escopo determinado. A metodologia admite também a formulação de coeficientes nulos, de tal modo que o fator-chave, ao receber tal valoração, passa a ser desconsiderado (juntamente com seus aspectos relacionados) para avaliação da efetividade.

Revisitando o procedimento convencional de elicitação *swing* em duas etapas, para a primeira, tem-se novamente a ordenação da importância relativa entre diversos os fatores-chave considerados, através de questionamento comunicado ao avaliador na forma adaptada:

*“Suponha que, considerando esta política, seu contexto de aplicação e a dimensão de efetividade sendo agora analisada, você pudesse melhorar sua efetividade ao máximo em apenas um dos fatores-chave estabelecidos. Qual fator-chave você escolheria?”*

Novamente, a repetição deste questionamento para o conjunto cada vez mais restrito de fatores-chave até então não indicados permite a obtenção da ordem completa de relevância entre esses elementos, de acordo com as percepções do avaliador e o contexto operacional de aplicação da política. Na segunda etapa do procedimento, parte-se para um novo questionamento com a finalidade de valorar numericamente cada um dos fatores-chave anteriormente ordenados, novamente numa escala de 0 a 100 (sendo 100 automaticamente atribuído ao fator com maior relevância na ordenação obtida). Os questionamentos são conduzidos segundo a forma adaptada:

*“Nesta escala de 0 a 100, qual é o peso do próximo fator-chave mais importante?”*

Sendo repetidos até que todos os fatores tenham sido valorados. Finalmente, realiza-se a normalização das notas atribuídas para chegar-se ao “peso” final de cada elemento elicitado, numa amplitude de zero a unidade, à semelhança do retratado na elicitação das dimensões “Macro”. Esquematicamente, tem-se o seguinte processo de elicitação com base no procedimento *swing*, como mostra a Tabela 9.

Tabela 9 - Elicitação das constantes de escala dos Fatores-chave pelo procedimento de "swing"

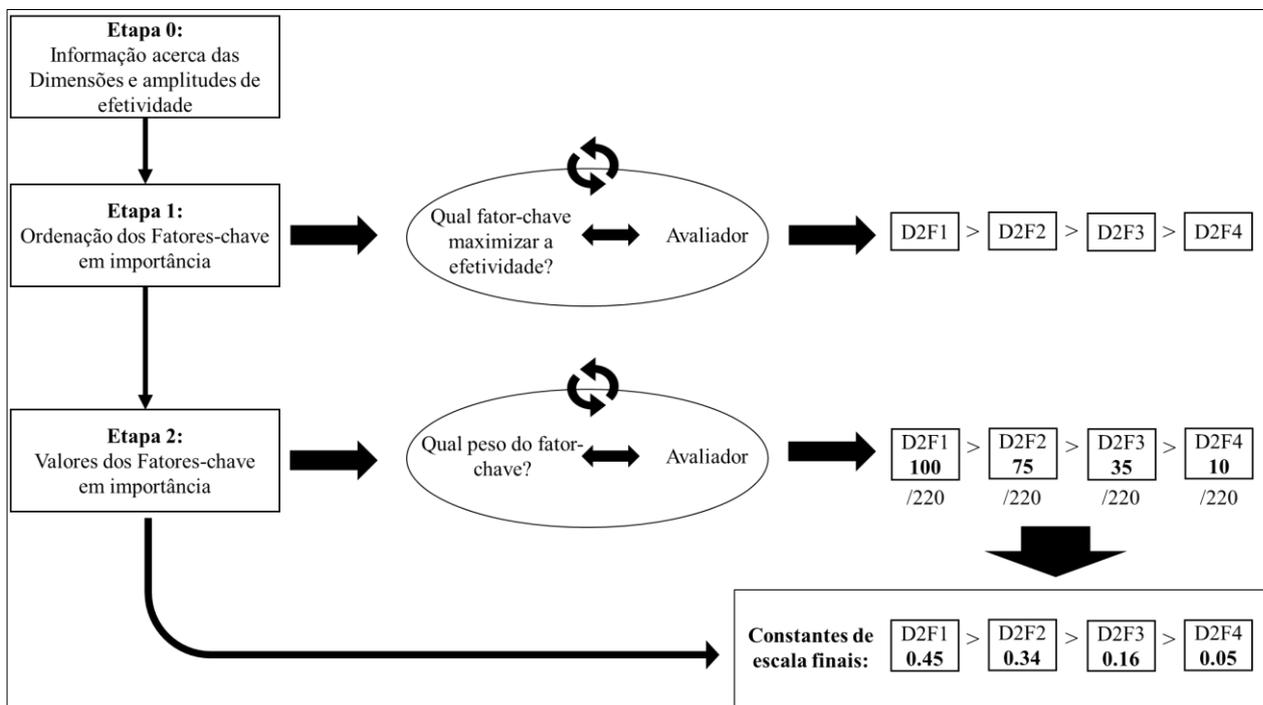
<b>Elicitação para Fatores-chave via <i>swing</i></b>		
<b>Etapa</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Questionamento</b>
0	Informar avaliador sobre propósito de avaliação dos Fatores-chave e prover direcionamento acerca de efetividade máxima e mínima em cada um destes, de acordo com Modelo Multidimensional	--
1	Ordenar Fatores-chave da respectiva Dimensão de Efetividade sendo iterada com base no grau de importância	“Suponha que, considerando esta política, seu contexto de aplicação e a dimensão de efetividade sendo agora analisada, você pudesse melhorar sua efetividade ao máximo em apenas um dos fatores-chave estabelecidos. Qual fator-chave você escolheria?”
2	Valorar numericamente Fatores-chave com base no grau de importância e ordenação prévia	“Nesta escala de 0 a 100, qual é o peso do próximo fator-chave mais importante?”

Fonte: O Autor (2020).

#### 4.2.2.4 Exemplo ilustrativo para output de constantes de escala “peso” para cada Fator-chave:

O esquema da Figura 25 é ilustrado com o objetivo de sanar possíveis dúvidas acerca do procedimento de elicitação relativo aos fatores-chave, retratando de maneira hipotética todas as interações envolvidas, ainda no que se refere à Dimensão Qualidade dos Recursos de Manutenção (D2) e seus quatro fatores-chave (F1 – F4) (continuando-se o exemplo anteriormente ilustrado).

Figura 25 - Ilustração do procedimento de elicitação das constantes de escala para Fatores-chave da Dimensão "Qualidade dos Recursos de Manutenção" (D2)



Fonte: O Autor (2020).

Similar ao observado no caso da Avaliação Macro, aqui representam-se as inquisições convencionais do procedimento *Swing*, 1 e 2, precedidas pela etapa preliminar (0) informativa. Questionamentos cíclicos e valores ilustrativos resultantes do procedimento são destacados para cada interação de elicitação.

#### 4.2.2.5 Explicitação de Itens relevantes:

Como pode ser observado no esquema da Avaliação "Micro" retratado na Figura 20, as unidades básicas para mensuração da efetividade – os chamados Aspectos – encontram-se aglomerados por Itens, que constituem um nível estrutural abaixo dos Fatores-chave e retratam de maneira mais clara a natureza dos Aspectos que o compõem. Devido ao caráter generalista do framework proposto, Aspectos diversos dentro de um mesmo fator-chave podem se mostrar irrelevantes para uma dada política de manutenção e seu contexto operacional aplicado, o que pode ser mais bem identificado por uma explicitação de Itens relevantes à avaliação de efetividade sendo conduzida. Dessa forma, torna-se conveniente um

novo processo de interação junto ao avaliador com a finalidade de explicitar quais Itens ou simplesmente “categorias de Aspectos” são relevantes ao processo como um todo.

Para facilitar o entendimento do framework por parte do avaliador, níveis estruturais da Avaliação “Micro” abaixo de Fator-chave lhe são em geral omitidos, sendo assim abordados através de uma série de simples perguntas explorativas, com níveis de resposta bem definidos, que por sua vez acabam por explicitar quais Itens a serem considerados e quais outros deve-se descartar. Destaca-se que, por haver Itens específicos em cada Fator-chave, este conjunto de “perguntas explicitadoras” é particular ao dado fator, sendo assim necessário responder questionamentos acerca de todos os fatores da dimensão de efetividade sendo avaliada para completar este presente processo (explicitação de itens relevantes) dentro de uma iteração “Micro” relativa a essa dimensão. Orientações particulares devem ser observadas nas Dimensões “Nível de Melhoria Operacional” e “Alinhamento estratégico”. Na primeira, não existe discernimento de Itens, de modo que o presente processo se desenvolve através de perguntas que distinguem quais Indicadores dentro de cada Fator-chave devem ser considerados na avaliação de efetividade (vide Figuras 7, 8 e 9). Na Dimensão “Alinhamento Estratégico”, cada Item corresponde a uma possível postura estratégica adotada na organização como um todo (parte da Estratégia Corporativa desta), de forma que as “Perguntas Explicitadoras de Itens” passam a trabalhar a identificação dessas posturas adotadas para posterior consideração de Aspectos relevantes dentro do âmbito reconhecido.

Com o intuito de tornar esse passo-a-passo o mais sucinto possível, novamente dedica-se a listagem extensiva de todos os questionamentos acerca de itens relevantes – para todos os fatores-chave de todas as Dimensões – aos respectivos Apêndices deste trabalho. Dando continuidade ao exemplo na Dimensão Qualidade dos Recursos de Manutenção, foca-se o Fator-chave “Condições Ambientais” para ilustrar as Perguntas Explicitadoras de Itens relativos a este fator (vide Figura 12), como demonstrado na Tabela 10.

Tabela 10 - Perguntas explicitadoras de Itens para o Fator-chave "Condições Ambientais", parte da Dimensão "Qualidade dos Recursos de Manutenção"

<b>Perguntas explicitadoras de Itens – Fator Chave “Condições Ambientais” – Dimensão “Qualidade dos Recursos de Manutenção”</b>	
<b>Item</b>	<b>Questionamento</b>
Condições Climáticas	Efetividade das ações de manutenção dependem de condições climáticas favoráveis?
Recursos Naturais	O uso de recursos naturais é necessário durante a execução da política de manutenção?
Meio de operação	Os entornos do local da manutenção influenciam as ações executadas?

Fonte: O Autor (2020).

É observável que a intenção por trás dos questionamentos é obter uma simples resposta de “sim” ou “não”, de forma que a afirmativa incorpora os Aspectos englobados pelo respectivo Item junto à avaliação de efetividade – o contrário ocorre com negação à pergunta. Pelo fato da avaliação ser conduzida por um analista junto ao avaliador (e não por este último sozinho), recomenda-se deixar oculto a relação das Perguntas Explicitadoras de Itens, priorizando pela simplicidade do modelo sob a ótica deste avaliador e assim evitando possíveis vieses.

#### 4.2.2.6 *Enquadramento com Grupos de Relevância:*

Em acordo com o já estabelecido, Grupos de Relevância são elementos que categorizam o contexto operacional sobre o qual opera a política de manutenção dentro de classes “críticas”, indicando que a efetividade de tais políticas sob esses contextos deve ser avaliada mais “a fundo” no tocante a certos Aspectos presentes no Framework (conferir esquema na Figura 20 para ilustrativo da atuação destes Grupos de Relevância). Processualmente, o enquadramento do ambiente operacional em Grupos de Relevância se dá através de perguntas assertivas, similar ao desenvolvido no processo de explicitação de itens. Tais questionamentos são específicos a seus respectivos Grupos que por sua vez se restringem a fatores-chave particulares, sendo, portanto, necessário que o avaliador mais uma vez responda perguntas que cubram todos os fatores da dimensão sendo analisada, para que se dê por completo o processo operacional “Enquadramento com Grupos de Relevância” nessa iteração da Avaliação “Micro”.

Ilustrando o processo, ainda dentro do fator-chave “Condições Ambientais” da dimensão “Qualidade dos Recursos de Manutenção”, identificam-se três Grupos de Relevância (vide Figura 12), que são questionados junto ao avaliador para possível enquadramento do contexto operacional sob o qual se aplica a política de manutenção, na forma da Tabela 11.

Tabela 11 - Perguntas para enquadramento com Grupos de Relevância do Fator-chave "Condições Ambientais", parte da Dimensão "Qualidade dos Recursos de Manutenção"

<b>Perguntas para enquadramento com Grupos de Relevância – Fator Chave “Condições Ambientais” – Dimensão “Qualidade dos Recursos de Manutenção”</b>	
<b>Grupo de Relevância</b>	<b>Questionamento</b>
Sistemas com Manutenção ao Ar Livre	A manutenção necessariamente deve ocorrer ao ar livre? (ao menos parcialmente)
Sistemas com Manutenção Consumidora de Recursos Naturais	O uso de recursos naturais é intenso e/ou essencial ao desempenho das ações de manutenção?
Sistemas com Manutenção no Local de Operação	O equipamento/componente precisa passar por manutenção enquanto fixo no entorno de operação?

Fonte: O Autor (2020).

Ao responder positivamente a algum dos questionamentos tais quais retratados acima, sinaliza-se um caráter de criticidade aos Aspectos que se encontram associados ao respectivo Grupo de Relevância (tal qual pode ser observado na Figura 12) acarretando consequências em processos seguintes da Avaliação “Micro” (a serem explanados posteriormente). Negação às perguntas anula o efeito criticidade sobre estes Aspectos. Uma observação é cabida no tocante à Dimensão Nível de Melhoria Operacional. Nesta, por não haver discernimento de Itens ou Aspectos, os Grupos de Relevância associam-se diretamente aos Fatores-chave, exercendo assim sua influência sobre todos os indicadores levantados para avaliação dentro do respectivo fator.

Novamente, recomenda-se a omissão da relação das Perguntas para enquadramento com Grupos de Relevância frente ao avaliador, prezando assim pela compreensão simples do processo. Uma listagem completa das perguntas para enquadramento com Grupos de Relevância – para todos os Fatores-chave e Dimensões – pode ser conferida nos respectivos Apêndices deste trabalho.

#### 4.2.2.7 Teste de Consistência entre Fatores-chave e Aspectos relevantes:

Consolidando a ideia de Fatores-chave “relevantes” como aqueles para os quais o processo de elicitação das constantes de escala tenha como resultado um coeficiente numérico diferente de zero, Aspectos “relevantes” como aqueles incorporados à avaliação de efetividade no seu respectivo Fator-chave (relevante) através do processo de Explicitação de Itens relevantes e Aspectos “críticos” como aqueles sinalizados com tal ênfase pelo processo de Enquadramento com Grupos de Relevância, propõe-se um processo intermediário de teste de consistência sobre os questionamentos desenvolvidos até então junto ao avaliador.

A intenção por trás desse procedimento é identificar discrepâncias que podem comprometer a execução do framework desenvolvido, antes que a etapa própria para mensuração da efetividade – através do trabalho com Aspectos relevantes – seja conduzida. Isso se dá através da verificação, por parte do analista que conduz a avaliação, de possíveis discordâncias entre Itens considerados “relevantes” e Grupos de Relevância previamente enquadrados, uma vez que não pode ocorrer o cenário onde um Aspecto sinalizado como “crítico” não tenha ao menos um dos seus respectivos Itens associados (mais de um Item pode se associar ao mesmo Aspecto) considerado como “relevante”. Tal situação implica uma quebra da lógica da metodologia de avaliação, pois algo crítico precisa, necessariamente, antes ser considerado “digno” de avaliação, segundo a própria percepção do avaliador que atribuiu tal criticidade ao Aspecto. Adicionalmente, uma outra discrepância é observada quando um Fator-chave dito “relevante” não apresenta nenhum Item a este relacionado considerado como “relevante”. Isto implica novamente uma incoerência metodológica, visto que, se um Fator-chave deve ser considerado na avaliação de efetividade, sua mensuração deve necessariamente ser feita através de pelo menos um Aspecto a ele relacionado, o que é estabelecido pela consideração de ao menos um Item “relevante”.

Caso tais incoerências venham a ser identificadas, é recomendado o reinício da Etapa Operacional de Avaliação “Micro” a partir de uma nova familiarização do avaliador com Fatores-chave, o que possivelmente consolidará o entendimento acerca da metodologia proposta e permitirá novos julgamentos consistentes para Itens e Grupos de Relevância.

Convém ressaltar que, caso o Teste de Consistência venha a ser realizado com êxito, chega-se à etapa intermediária onde o framework apresenta seu caráter “instrutivo” evidenciado. Isso porque, uma vez definidos todos os Aspectos relevantes que compreendem uma política de manutenção efetiva para o dado contexto operacional observado, tais elementos podem então ser interpretados como *guidelines* ou recomendações qualitativas (em

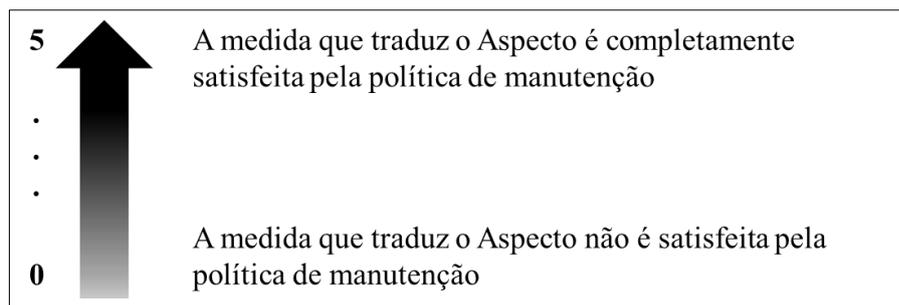
sua forma positiva) para a concepção de uma política personalizada ao sistema industrial trabalhado, que tem potencial para se mostrar “perfeitamente efetiva” caso atenda completamente a todos os Aspectos delineados segundo a proposta metodológica do Framework e Modelo Multidimensional para Avaliação da Efetividade de Políticas de Manutenção, desenvolvidos neste trabalho. Etapas subsequentes da Avaliação “Micro”, portanto, buscam apenas propor uma sugestão de método – ainda embrionário, dentre várias outras opções passíveis de implementação – para mensurar o nível com o qual esses Aspectos ditos “relevantes” são atendidos e observados dentro da execução da política avaliada, tendo-se assim uma opcional medida numérica da efetividade atual dessa política. Para melhor representação deste produto intermediário do Framework, na forma de Análise qualitativa para Efetividade em Manutenção, indica-se a observância do Apêndice E, que traz uma estrutura genérica em formato de “ficha” para representação das Dimensões, Fatores-chave e Aspectos relevantes – estes últimos em forma de recomendações – focalizando o exemplo ilustrativo até então discorrido, no tocante à Dimensão “Qualidade dos Recursos de Manutenção” e Fator-chave “Condições Ambientais”.

#### 4.2.2.8 Pontuação de Aspectos relevantes:

Uma vez listados todos os Aspectos relevantes de um Fator-chave que constitui a Dimensão relativa à iteração “Micro” sendo desempenhada, devidamente assinalados de acordo com o possível enquadramento em Grupos de Relevância, propõe-se um processo para mensurar diretamente a efetividade da política de manutenção através do “cumprimento” das medidas traduzidas por tais Aspectos. Para tanto, faz-se necessária a enunciação de cada Aspecto – tal qual representado nos diagramas esquemáticos do Modelo Multidimensional, vide Figuras 7 a 18 – em uma medida positiva que indica efetividade da política de manutenção sendo avaliada dentro do escopo deste Aspecto. Isso é proposto pelo presente framework em forma extensiva, a cobrir todos os Aspectos de todos os Fatores e Dimensões, podendo ser observado nos respectivos Apêndices deste trabalho.

Para valoração de cada um desses Aspectos, portanto, adota-se uma formatação simplificada, de modo a facilitar tanto a condução do procedimento e explanação do racional de mensuração por parte do analista quanto a resposta por parte do avaliador. Sendo assim, o gerente de manutenção, avaliando a efetividade de sua política, é questionado a estabelecer uma nota numérica de 0 (zero) à 5 (cinco) para o cumprimento da medida/aspecto apresentado, segundo a escala proposta na Figura 26.

Figura 26 - Escala de mensuração construída para um Aspecto qualquer



Fonte: O Autor (2020).

Sendo assim, observa-se que, para cada Aspecto, uma pontuação máxima de 5 pode ser conferida. Após mensurados todos os aspectos relevantes referentes ao respectivo Fator-chave sendo analisado numa iteração “Micro”, uma valoração para este atributo é obtida pela simples composição (soma) de todas as pontuações obtidas. Tal procedimento se mostra consistente, uma vez que a escala proposta é do tipo intervalar.

Para o caso particular da Dimensão Nível de Melhoria Operacional, não apresentando Aspectos, inicialmente calculam-se os Indicadores considerados relevantes em acordo com o processo de Explicitação de Itens Relevantes (adaptado a este contexto). Em seguida, a mesma mensuração tal qual proposta aqui é realizada com base no valor numérico encontrado para o Indicador, de forma que o nível atribuído pelo avaliador reflète um julgamento acerca da “satisfação” com o desempenho apresentado pela política de manutenção.

#### 4.2.2.9 Normalização de pontuação em cada Fator-chave, considerando possíveis Grupos de Relevância:

Uma vez pontuados e somados os Aspectos relevantes para um determinado Fator-chave (na Dimensão Nível de Melhoria Operacional, entende-se como sendo a pontuação de cada um dos indicadores relevantes em um Fator-chave), observa-se que tal mensuração ainda se apresenta num formato primário e não normalizado, representando a “consequência” da política sendo avaliada dentro do Fator-chave considerado. Se faz necessário, portanto, lançar mão de um procedimento de normalização, de forma a compatibilizar as pontuações de Fatores-chave numa mesma amplitude de variação, padronizada como entre 0 (zero) e 1 (um).

Para tanto, considera-se o procedimento de divisão pela nota máxima, onde a pontuação atingida pelo Fator-chave é dividida pelo valor máximo possível de ser obtido caso todas as medidas que traduzem os aspectos relevantes fossem completamente satisfeitas pela

política de manutenção (recebendo pontuação máxima “5” em todos os aspectos). Torna-se oportuno, agora, considerar o possível enquadramento do contexto operacional da política em algum Grupo de Relevância, que potencialmente se associa a alguns destes Aspectos anteriormente mensurados. Essa consideração é implementada no processo de normalização como uma adaptação ao cálculo convencionalmente adotado na “divisão pela nota máxima”, compatibilizando-o com os desafios particulares do Framework proposto. Caso algum Aspecto esteja assinalado como “crítico” em função da associação com algum Grupo de Relevância, atribui-se a este um “índice de criticidade” – neste presente desenvolvimento modelado como sendo igual a 2 (dois). Aspectos relevantes não assinalados como “crítico” mantêm um índice de criticidade neutro no valor de 1(um). Tal atribuição também é contabilizada ao calcular-se a nota máxima possível para um determinado Fator-chave, atentando-se assim para a existência de Aspectos componentes que apresentam índice de criticidade não-neutro. Caso exista mais de um Grupo de relevância envolvendo o mesmo Aspecto, seu índice multiplica-se de acordo com o número de vezes que este é assinalado como “crítico” (por exemplo, se um aspecto é enquadrado a dois grupos de relevância, seu índice de criticidade é dobrado, passando a valorar um total de 4).

Seguindo a proposta de elaboração de um *score* final para um dado Fator-chave, fica assim estabelecida uma normalização da pontuação composta por todos os seus respectivos Aspectos relevantes, numa razão com o máximo de pontuação possível de ser atribuída, já considerando-se a atribuição de criticidade a alguns aspectos em decorrência de associações a Grupos de Relevância. Matematicamente, calcula-se a nota final de um dado Fator-chave “*PtF*” como:

$$PtF = \frac{\sum_{\text{aspectos relevantes}}(p * cr)}{\sum_{\text{aspectos relevantes}}(pmax * cr)}$$

O que traduz a ideia da razão entre o somatório das pontuações atribuídas a Aspectos relevantes “*p*” (de 0 a 5), multiplicadas por seus devidos índices de criticidade “*cr*”, e o somatório das pontuações máximas possíveis a estes mesmos Aspectos relevantes, “*pmax*” (igual a 5 para cada aspecto), também multiplicados pelos respectivos índices. Na formulação matemática, “*cr*” representa o produto de todos os possíveis índices de criticidade para um dado Aspecto, assumindo valor 1 quando não existem associações a serem contabilizadas. Novamente ressalta-se a necessidade de empregar este procedimento repetidamente a todos os Fatores-chave da dimensão iterada, de forma a concluir o processo de Avaliação “Micro”.

#### 4.2.2.10 Exemplo ilustrativo para output de Nota final de cada Fator-chave:

Seguindo com o exemplo até então trabalhado para o Fator-chave “Condições Ambientais”, dentro da Dimensão “Qualidade dos Recursos de Manutenção”, é proposto aqui uma instância ilustrativa de forma a sanar possíveis dúvidas relativas aos procedimentos de pontuação de Aspectos relevantes e Formação da nota final de um determinado Fator-chave. Para tanto, supõe-se que o processo de Explicitação de Itens Relevantes tenha retornado que apenas o Item “Condições climáticas” e seus Aspectos devem ser levados em consideração para a avaliação dentro do escopo deste Fator. Numa mensuração junto ao avaliador, chega-se à pontuação para esses Aspectos, previamente traduzidos em medidas positivas de efetividade, tal qual retrata a Tabela 12.

Tabela 12 - Pontuação dos Aspectos do Item "Condições Climáticas", do Fator-chave "Condições Ambientais" pertencente à Dimensão "Qualidade dos Recursos de Manutenção"

<b>Dimensão Qualidade dos Recursos de Manutenção/ Fator-chave Condições Ambientais/Item Condições Climáticas (D2F3IT1)</b>		
<b>Aspecto</b>	<b>Medida traduzida</b>	<b>Mensuração do avaliador</b>
Flexibilidade para reagendamentos	Calendário de manutenção prevê/comporta remanejamentos para ações de manutenção	5
Planejamento de contingência	Existência de um plano reserva para operação regular temporária sem intervenções de manutenção	0
Monitoramento Meteorológico	Acompanhamento e consideração da previsão do tempo no agendamento de atividades de manutenção	3

Fonte: O Autor (2020).

Em seguida, supõe-se que, pelo processo de Enquadramento com Grupos de Relevância, é chegada à conclusão afirmativa acerca da associação do contexto operacional da política de manutenção ao Grupo “Sistemas com Manutenção ao Ar Livre”. Isto implica que, em acordo com o esquema da Figura 12, todos os três Aspectos acima terão sua pontuação

atribuída e limite máximo multiplicados por um fator de 2. Calculando a nota final para o Fator-chave de Condições Ambientais, tem-se:

$$PtF = \frac{\sum_{aspectos\ rel}(p * cr)}{\sum_{aspectos\ rel}(pmax * cr)} = \frac{(5 * 2) + (0 * 2) + (3 * 2)}{(5 * 2) + (5 * 2) + (5 * 2)} = \frac{16}{30} \cong 0.53$$

O que representa de maneira bastante clara a efetividade da política de manutenção para o Fator-chave analisado, dentro da Dimensão sendo iterada na Avaliação “Micro”, em um *range* de 0 (efetividade nula) e 1 (efetividade máxima). Aqui, observa-se um caráter intermediário no desempenho da política (0.53), tendo em vista o julgamento de Itens relevantes e enquadramento com Grupos de Relevância por parte do avaliador.

Dessa maneira, uma vez iterada para todas as Dimensões consideradas “relevantes”, tem-se finalizada a Etapa de Avaliação “Micro”, sendo então habilitada a terceira e última fase da avaliação de efetividade da referida política de manutenção.

#### 4.2.3 Agregação de Resultados

Pautando a última Etapa Operacional pelo fluxograma estabelecido na Figura 23, é proposto um simples procedimento aditivo para agregar todos os *outputs* produzidos em um único *score* para Avaliação Multidimensional da Efetividade da política de manutenção em análise, segundo framework consolidado neste trabalho. Numa visão hierárquica – tal qual representa as Figuras 19 e 20 – o processo constitui-se basicamente numa abordagem *bottom-up* de construção de índices numéricos, que se agregam a valores hierarquicamente mais elevados e previamente elicitados para formação de notas ponderadas, até que uma única pontuação global seja obtida para toda a estrutura de avaliação.

Em primeira instância, faz-se necessário obter a nota final para cada uma das Dimensões relevantes. Isso é calculado pela combinação do *output* referente à nota final de cada Fator-chave – relevante à respectiva dimensão – com a constante de escala desse Fator. Numa formulação matemática generalizada, tem-se a nota de uma Dimensão (“SD”) dada pela expressão:

$$SD = \sum_{Fatores\ relevantes} (PtF * kDF)$$

Que nada mais é do que uma soma ponderada de *scores* por constantes de escala. “*PtF*” refere-se ao *output* da nota final de cada Fator-chave e “*kDF*” é a constante de escala do respectivo Fator, ambos obtidos a cada iteração da Avaliação “Micro”. Por essa expressão, Fatores-chave considerados “irrelevantes” são naturalmente desconsiderados por apresentarem constante de escala nula (0). Pelo fato de ambas as constantes de escala e notas finais de Fatores serem valoradas numa escala normalizada (de 0 a 1), tem-se a nota final de uma Dimensão também restrita ao mesmo *range* normalizado, adotando seu máximo (1) quando todos os Fatores-chave relevantes apresentam efetividade avaliada como máxima.

Obtidas os *scores* para cada Dimensão, o mesmo procedimento é empregado em um nível hierárquico acima, referindo-se à combinação das notas de Dimensão “*SD*” com as constantes de escala elicitadas para cada um desses elementos durante a Avaliação “Macro”, “*kD*”. A expressão para cálculo do *score* global de efetividade “*SMPE*” é então dada similarmente por:

$$SMPE = \sum_{\text{Dimensões relevantes}} (SD * kD)$$

Sendo “*SMPE*” a sigla para *Score of Maintenance Policy Effectiveness*, ou “Pontuação da Efetividade da Política de Manutenção”. Tal resultado constitui finalmente o alvo de todo o Framework para Avaliação Prática de Políticas de Manutenção, agregando Framework e Modelo Multidimensionais desenvolvidos neste trabalho.

Exemplificando esta Etapa Operacional de Agregação de Resultados, retoma-se uma última vez o exemplo ilustrativo sendo trabalhado em seções anteriores. Partindo da pontuação prévia do Fator-chave “Condições Ambientais” ( $D2F3 = 0.53$ ), supõe-se, para fins didáticos, que os demais fatores “Peças sobressalentes” ( $D2F1$ ), “Estrutura de Manutenção” ( $D2F2$ ) e “Recursos Humanos” ( $D2F4$ ), da Dimensão “Qualidade dos Recursos de Manutenção” ( $D2$ ), apresentem respectivas pontuações de 0.75, 0.4 e 0.25. Combinando-se valores de constantes de escala tais quais calculados na Figura 31, calcula-se a nota para a respectiva Dimensão “2” como:

$$\begin{aligned} SD2 &= \sum_{\text{Fatores relevantes}} (PtF * kDF) \\ &= (0.75 * 0.45) + (0.4 * 0.34) + (0.53 * 0.16) + (0.25 * 0.05) \cong 0.571 \end{aligned}$$

Que é a Avaliação “Micro” de Efetividade para a Dimensão “Qualidade dos Recursos de Manutenção”, em sua forma numérica final. Trazendo didaticamente pontuações para as demais Avaliações “Micro” referentes às Dimensões “Nível de Melhoria Operacional” (D1), “Esforço Gerencial” (D3) e “Alinhamento Estratégico” (D4), nos valores respectivos de 0.752, 0.422 e 0.157, combinam-se a essas notas as constantes de escala elicitadas na Figura 27. Finalmente, obtém-se a valoração global de efetividade para a hipotética política de manutenção, na forma:

$$\begin{aligned}
 SMPE &= \sum_{\text{Dimensões relevantes}} (SD * kD) \\
 &= (0.752 * 0.48) + (0.571 * 0.38) + (0.422 * 0.14) + (0 * 0) = 0.6367
 \end{aligned}$$

Que é o *score* global para avaliação da efetividade da política de manutenção. Observa-se que a última dimensão foi considerada irrelevante para a presente avaliação, através da elicitação de uma constante de escala nula, de forma que não se prosseguiu para a etapa de Avaliação Micro nesta referida esfera de efetividade (nota final da dimensão automaticamente anulada “0”).

A partir de um simples exemplo ilustrativo, já é possível observar o caráter sucinto do *output* provido pelo Framework, na forma de um simples número no intervalo [0,1] como medida única da avaliação multidimensional. Imediatamente, o avaliador consegue ter uma medida consistente da efetividade de sua política sendo executada na planta industrial ou sob vias de implementação, considerando o contexto prático sobre o qual é/vai ser aplicada, além de amplas visões acerca do que vem a ser a efetividade de uma política de manutenção através das “lentes” dos mais variados níveis organizacionais – desde a operação no chão de fábrica até a mais alta gestão estratégica corporativa.

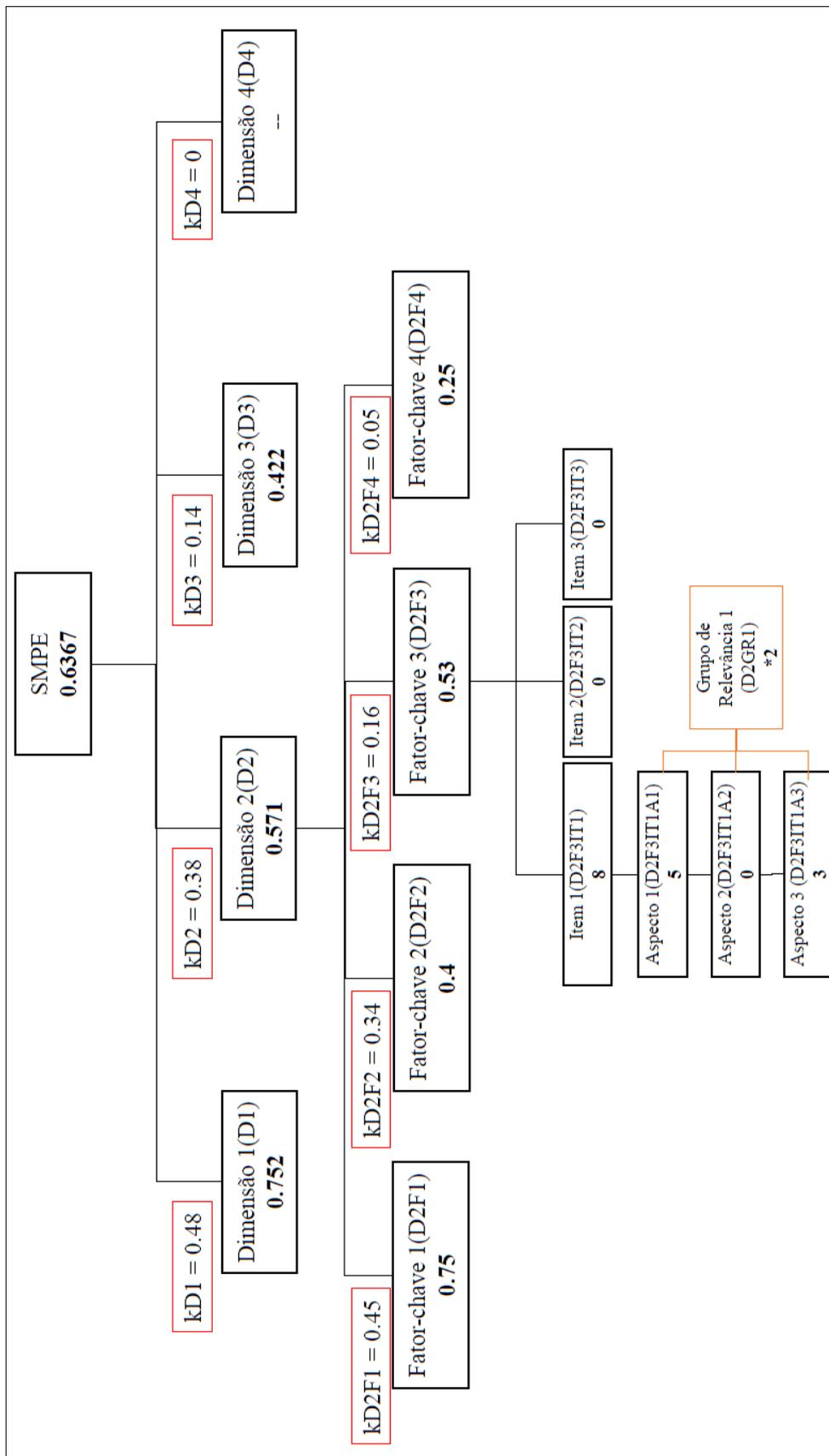
No exemplo didático delineado acima, um coeficiente de 0.6367 é obtido. Apesar do cálculo em quatro casas decimais – resultante dos processos de agregação previamente conduzidos – não se faz necessária tamanha precisão, podendo o valor ser representado simplesmente por “0.64”, também didaticamente interpretado como “6.4” (numa nota de 0 a 10) ou “64%” (como porcentagem de uma avaliação “perfeita” em efetividade). Pelo fato de ser bastante fundamentado nas percepções do gerente de manutenção, além de compatibilizado ao contexto operacional para o qual se visa a aplicação da política (aspectos relevantes são delimitados especificamente para aplicação em análise), torna-se difícil o estabelecimento de um diagnóstico generalizado para o SMPE obtido. De uma maneira geral,

no entanto, pode-se convencionar que um valor na faixa  $[0;0,5]$  constitui uma zona de “alerta”, indicando que a política de manutenção avaliada, a priori, não apresenta efetividade satisfatória para o componente/equipamento mantido. De maneira complementar, um *score* dentro da amplitude  $(0,5;1,0]$  retrata uma zona “aceitável” de efetividade, em termos gerais. Reforça-se, assim, que uma ponderação mais consistente desse coeficiente só poderá ser realizada pelo próprio gerente avaliador, devidamente informado sobre o processo conduzido e acompanhado por um analista com *expertise* no Framework desenvolvido.

Ainda neste momento, o avaliador, uma vez intencionado a desenvolver e implantar uma política customizada ainda mais efetiva, pode retornar à Análise qualitativa para Efetividade em Manutenção – produto intermediário deste Framework na forma de *guidelines* instrutivas – e, interpretando as medidas traduzidas em cada Aspecto relevante como recomendações para políticas “perfeitamente” efetivas, utilizá-las como direcionamento para concepção de um novo programa de coordenação de ações de manutenção para o determinado equipamento ou componente-alvo.

Um esquemático final é então trazido para melhor compreensão do fluxo de cálculo adotado no exemplo ilustrativo supracitado, ao longo de todas as suas Etapas Operacionais.

Figura 27 - Esquemático completo do exemplo ilustrativo adotado ao longo das Etapas Operacionais do Framework



Fonte: O Autor (2020).

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente dissertação tratou com êxito o estudo e avaliação da efetividade de políticas de manutenção. Objetivos específicos previamente estabelecidos foram alcançados, com produto final dentro das diretrizes esperadas pelos colaboradores do trabalho. Limitações e sugestões para continuidade desta pesquisa podem ser naturalmente identificadas, o que reforça o papel da presente proposta enquanto fundamento para o avanço da ciência no que tange a este tema.

Inicialmente, o trabalho tratou de maneira assertiva os principais conceitos e chaves teóricas que permitem o estudo da Manutenção e suas políticas, sob o foco da efetividade destas. Interessante foi elucidar a vaguidade no tocante à terminologia “efetividade” frente às suas variações do tipo “eficácia” ou “eficiência”, tomando como base as respectivas traduções dos termos na língua inglesa – praticamente a única adotada no tratamento da presente temática. Analisando o contexto científico das produções que abordam essas nomenclaturas, concluiu-se como sendo “efetividade” a melhor tradução da ideia abordada ao longo desse estudo, enquanto “nível com que uma política de manutenção atinge as expectativas sobre ela impostas pela organização”. Tal análise se desdobra numa recomendação para uma possível unificação da terminologia que trata da efetividade no campo da Manutenção. Adicionalmente, foi proposta uma breve introdução aos conceitos principais no campo de Apoio Multicritério à Decisão, como forma de solidificar uma base para o subsequente desenvolvimento de um *framework* prático, segundo proposta definida para esta pesquisa.

Como primeira contribuição sensível aos objetivos dessa dissertação, a revisão da literatura acerca da efetividade em manutenção trouxe uma visão holística relevante sobre como as produções do meio acadêmico têm abordado esse eixo temático até os dias atuais. De maneira sucinta, entendeu-se a existência de um extenso tratado neste tema ao longo dos anos, apesar de “pulverizado” numa ampla gama de abordagens – em alguns casos até divergentes – e aplicações sobre casos específicos da Indústria. Como consequência, tornou-se clara a carência pelo desenvolvimento de um modelo generalizado que, apesar de “sofrer” com perdas em detalhamento e foco sob certas aplicações, permita avaliar a efetividade de políticas de manutenção nos mais diversos cenários práticos onde essa possa ser implementada, contemplando múltiplas esferas de efetividade que agregam análises já consagradas na literatura com novas perspectivas formuladas neste presente estudo.

Identificada esta lacuna, o estudo empenhou-se no desenvolvimento de um Modelo Multidimensional para Avaliação da Efetividade de Políticas de Manutenção, como uma de

suas principais contribuições. Nessa modelagem, quatro esferas de efetividade foram consolidadas como principais influenciadoras no “sucesso” de uma política de manutenção – independente do seu contexto operacional ou ambiente organizacional sob o qual encontra-se implementada. Através de avaliação quantitativa e qualitativa nas vertentes de Nível de Melhoria Operacional, Qualidade dos Recursos de Manutenção, Esforço Gerencial e Alinhamento Estratégico, um vasto leque de medidas indicativas de efetividade foi elencado, formatado numa estrutura estratificada em níveis de dimensões, fatores-chave, itens e aspectos. Visando uma melhor avaliação do contexto operacional da política em análise, foi proposta a identificação de Grupos de Relevância, que implicam no maior enfoque sobre certos aspectos de efetividade mais relevantes ao “desafio” da política de manutenção implementada numa determinada operação. Uma estrutura esquemática foi desenvolvida para maior facilidade de compreensão do Modelo por parte do gerente de manutenção encarregado da avaliação de efetividade.

Finalmente, foi proposto um *Framework* para Avaliação Multidimensional da Efetividade de Políticas de Manutenção, como forma de sugestão para aplicação do Modelo Multidimensional generalizado previamente formulado. Consistindo o cerne deste trabalho, o *framework* visa traduzir em um passo-a-passo prático e generalizado todo o processo de avaliação da efetividade de uma política, aplicada dentro de um determinado contexto operacional sobre um componente ou equipamento. Buscando conciliar as diferentes esferas de análise previamente desenvolvidas, a metodologia adaptou diversos conceitos próprios do campo de Apoio Multicritério à Decisão (*MCDA*) para estabelecer etapas operacionais que permitem avaliar a efetividade de maneira agregada, através de procedimentos simples e fáceis de serem conduzidos junto ao gerente de manutenção (avaliador), baseando-se em suas percepções. Como resultado, o framework é capaz de identificar dimensões, fatores e itens relevantes ao contexto operacional e política em análise, reconhecendo possíveis grupos de relevância que enquadram tal contexto prático. Por fim, é obtida uma simples e única nota final agregada – numa amplitude de zero (0) à unidade (1) – que traduz a efetividade da política em avaliação, sendo 1 o conceito máximo de efetividade e 0 um indicativo de total inefetividade da política sendo adotada ou sob vias de adoção. Além de um meio para abordar o “sucesso” de uma política numa determinada operação, o framework apresenta caráter “instrutivo” ao elucidar possíveis recomendações na forma de medidas favoráveis à efetividade de um programa gerencial voltado à manutenção de um equipamento ou componente. Formalizado como um produto intermediário (ficha) de análise qualitativa para efetividade em manutenção, este serve de guia para a criação ou customização de uma política

de manutenção própria a um determinado contexto operacional e ambiente organizacional, caso do interesse da Manutenção. Tratados extensivos acerca de todos os procedimentos do framework podem ser contemplados nos apêndices desta dissertação. Um exemplo ilustrativo foi discorrido de forma a consolidar o passo-a-passo desenvolvido, bem como sanar possíveis dúvidas e familiarizar a equipe de manutenção com a implementação do processo de avaliação.

Há de se ressaltar o fato do presente estudo ter contribuído com o meio acadêmico através da publicação, divulgação e apresentação de seus produtos em congressos científicos nacionais e internacionais. Dentre os eventos prestigiados, listam-se: INnovation for Systems Information and Decision meeting (INSID 2019), XL Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP 2020) e 2020 INFORMS Annual Meeting. Resultados desta dissertação contemplados em tais congressos envolvem a Revisão da Literatura sobre Efetividade em Manutenção, Modelo Multidimensional para Avaliação da Efetividade de Políticas de Manutenção e *Framework* para Avaliação Multidimensional da Efetividade de Políticas de Manutenção.

Além da contribuição através de publicações e disseminação do conhecimento acerca da Efetividade em Manutenção, o presente desenvolvimento beneficia a comunidade acadêmica com uma modelagem em escopo ampliado capaz de identificar ações e políticas prejudiciais e subótimas ao sistema de produção, indicando possíveis medidas efetivas a serem contempladas em cada caso. Ao setor industrial, traduz-se uma contribuição com melhores níveis de performance produtiva, uso eficiente de recursos e operacionalização inteligente da manutenção, o que por sua vez acaba por incrementar a competitividade de mercado e “saúde” global das organizações.

## **5.1 Limitações e Sugestões para Trabalhos Futuros**

Apesar de todos os objetivos terem sido alcançados satisfatoriamente, algumas limitações podem ser identificadas no escopo aqui desenvolvido, bem como possíveis oportunidades que podem impulsionar novos trabalhos no tema de avaliação de efetividade de políticas de manutenção. Dentre limitações do presente estudo, mencionam-se as dimensões que aqui foram determinadas como influenciadoras na efetividade de manutenção. É reconhecido que potencialmente alguns fatores que apresentam impacto sobre a efetividade de políticas de manutenção tenham sido omitidos ou não extensivamente tratados, por maior que seja o empenho em propor uma solução abrangente e generalizada para avaliação. Além disso,

admite-se o caráter ainda “embrionário” dos parâmetros aqui adotados durante a operacionalização do *framework* proposto. Ainda que consistentes, uma maior ponderação acerca dos procedimentos de pontuação dos aspectos relevantes e elementos multiplicativos de tais pontuações (ao enquadrar-se grupos de relevância) podem trazer maior realidade ao *score* final obtido como medida de efetividade da política avaliada.

Limitações decorrentes da metodologia desenvolvida naturalmente implicam em oportunidades para futuros trabalhos, como é o caso de potenciais estudos sobre novas dimensões, fatores, itens e aspectos atrelados à efetividade que venham a complementar o Modelo Multidimensional formulado. Uma análise de sensibilidade sobre os parâmetros de mensuração e agregação de aspectos relevantes também se faz recomendada, como forma de aperfeiçoar a nota final obtida a partir do *framework* de avaliação. Além destes, convém tratar do caráter ainda embrionário desta dissertação. Apesar da exemplificação ilustrativa e didática discorrida ao longo do passo-a-passo apresentado, estudos na forma de aplicações reais do Modelo Multidimensional e *Framework* ainda são pendentes, sendo, entretanto, pertinentes não só de modo a validar as contribuições aqui elencadas, mas também como “eventos-teste” para identificação de outros *gaps* neste escopo que traduzem possíveis oportunidades para trabalhos complementares.

## REFERÊNCIAS

- ALBERTI, A. R.; CAVALCANTE, C. A. V. A two-scale maintenance policy for protection systems subject to shocks when meeting demands. *Reliability Engineering and System Safety*, 204, 107118, 2020.
- ALBERTI, A. R.; CAVALCANTE, C. A. V.; SCARF, P.; SILVA, A. L. O. Modelling inspection and replacement quality for a protection system. *Reliability Engineering and System Safety*, 176, 145-153, 2018.
- ALOTAIBI, N. M.; CAVALCANTE, C. A. V.; LOPES, R. S., SCARF, P. A. Preventive replacement with defaulting. *IMA Journal of Management Mathematics*, 00, 1-14, 2020.
- ALMEIDA, A. T. Processo de Decisão nas Organizações: Construindo modelos de decisão multicritério, Editora Atlas, São Paulo, 2013.
- ALMEIDA, A. T.; CAVALCANTE, C. A. V.; ALENCAR, M. H.; FERREIRA, R. J. P.; ALMEIDA-FILHO, A. T.; GARCEZ, T. V. Multicriteria and Multiobjective Models for Risk, Reliability and Maintenance Decision Analysis, Springer, Switzerland, 2015.
- AL-NAJJAR, B. 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*, 107, 260-273, 2007.
- ANDRIULO, S.; ARLEO, M. A.; CARLO, F.; GNONI, M. G.; TUCCI, M. Effectiveness of maintenance approaches for High Reliability Organizations. *IFAC-PapersOnLine*, 48 (3), 466-471, 2015.
- ANTOSZ, K.; PASKO, L.; GOLA, A. The Use of Intelligent Systems to Support the Decision-Making Process in Lean Maintenance Management. *IFAC PapersOnline*, 52 (10), 148-153, 2019.
- ASHAR, H.; BAGCHI, G. Implementation of maintenance rule for structures. *Nuclear Engineering and Design*, 192, 147-154, 1999.
- AU-YOUNG, P. C.; ALI, A.; AHMAD, F.; CHUA, S. J. L. Influences of key stakeholders' involvement in maintenance management. *Property Management*, 35 (2), 217-231, 2017.
- AZADEH, A.; ASADZADEH, S. M.; SALEHI, N.; FIROOZI, M. Condition-based maintenance effectiveness for series-parallel power generation system – A combined Markovian simulation model. *Reliability Engineering and System Safety*, 142, 357-368, 2015.
- BARBERÁ, L.; CRESPO, A.; VIVEROS, P.; STEGMAIER, R. A case study of GAMM (graphical analysis for maintenance management) in the mining industry. *Reliability Engineering and System Safety*, 121, 113-120, 2014.
- BARTUŠEVIČIENĖ, I.; ŠAKALYTĖ, E. Organizational Assessment: Effectiveness vs. Efficiency. *Social Transformations in Contemporary Society*, 1, 45-53, 2013.

- BEECH, H. R.; BURNS, L. E.; SHEFFIELD B. F. A Behavioral Approach to the Management of Stress, John Wiley and Sons, New York, 1982.
- BEN-DAYA, M.; DUFFUAA. S. O.; RAOUF A. Maintenance, Modeling and Optimization, Springer, New York, NY, 2000.
- BEN-DAYA, M.; DUFFUAA, S. O.; RAOUF, A.; KNEZEVIC, J.; AIT-KADI, D. Handbook of Maintenance Management and Engineering, Springer, London, 2009.
- BEN-DAYA, M.; KUMAR, U.; MURTHY, D. N. P. Introduction to maintenance engineering: modelling, optimization and management, Wiley, Chichester, 2016.
- BENGTSSON, M.; LUNDSTRÖM, G. On the importance of combining “the new” with “the old” – One important prerequisite for maintenance in Industry 4.0. *Procedia Manufacturing*, 25, 118-125, 2018.
- BLISCHKE, W. R.; MURTHY, D. N. P. Case Studies in Reliability and Maintenance, Wiley, Hoboken, New Jersey, 2003.
- CAMPBELL, J.D.; JARDINE, A.K.S. Maintenance Excellence: Optimizing Equipment Lifecycle Decisions, Marcel Dekker, New York, 2001.
- CAVALCANTE, C. A. V.; LOPES, R. S.; SCARF, P. A. A general inspection and opportunistic replacement policy for one-component systems of variable quality. *European Journal of Operational Research*, 266, 911-919, 2018.
- CAVALCANTE, C. A. V.; COSTA, L. Q. M.; FERREIRA NETO, W. A.; ALBERTI, A. R. Modelling the interaction of a disruptive external event and human error in the quality of inspection for a technical system. 2020. No prelo.
- CHOLASUKE, C.; BHARDWA, R.; ANTONY, F. The status of maintenance management in UK manufacturing organisations: results from a pilot survey. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 10 (1), 5-15, 2004.
- CHRISTENSEN, J. M.; HOWARD, J. M. Field Experience in Maintenance. *In: Human Detection and Diagnosis of System Failures*, Plenum Press, New York, 111-113, 1981.
- CONTRI, P.; KUZMINA, I.; ELSING, B. Maintenance Optimization and Nuclear Power Plant Life Management – A Proposal for an Integrated Set of Maintenance Effectiveness Indicators. *Journal of Pressure Vessel Technology*, 134, 2012.
- CORDER, A. S. Maintenance management techniques. McGraw-Hill, 1976.
- CROCKER, J. Effectiveness of maintenance. *Journal of Quality in Maintenance*, 5 (4), 307-313, 1999.
- DHILLON, B. S. Human Reliability: With Human Factors. Pergamon Press, New York, 1986.
- DUNN, R. Advanced maintenance technologies. *Plant Engineering*, 40(12), 80-82, 1987.

EDWARDS, W.; BARRON, F. H. SMARTS and SMARTER: Improved Simple Methods for Multiattribute Utility Measurement. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 60, 306-325, 1994.

GARCIA, M. C.; SANZ-BOBI, M. A.; PICO, J. SIMAP: Intelligent System for Predictive Maintenance Application to the health condition monitoring of a windturbine gearbox. *Computers in Industry*, 57, 552-568, 2006.

GIL, A. C. Como Elaborar Projetos de Pesquisa. 4 ed. Atlas, São Paulo, 2002.

HAMMER, W. Product Safety Management and Engineering, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1980.

HAYES, R. H.; WHEELWRIGHT, S. C. Restoring Our Competitive Edge: Competing Through Manufacturing, Wiley, New York, NY, 1984.

HIGGINS, L. R.; MOBLEY, R. K. Maintenance Engineering Handbook. 6 ed. McGraw-Hill, 2002.

HUBY, G.; COCKRAM, J.; FLEMING, M. Through-Life Data Exploitation to Reduce Downtime and Costs. *Procedia CIR*, 11, 50-55, 2013.

HUYNH, K. T.; GRALL, A.; BÉRENGUER, C. Assessment of diagnostic and prognostic condition indices for efficient and robust maintenance decision-making of systems subject to stress corrosion cracking. *Reliability Engineering and System Safety*, 159, 237-254, 2017.

JARDINE, A. K. S. Maintenance, Replacement, and Reliability. John Wiley, New York, 1973.

JERNG, D. W.; CHANG, H. S.; JU, T. Y. Development of a maintenance effectiveness monitoring program for CANDU reactors. *Annals of Nuclear Energy*, 38, 1512-1518, 2011.

KANS, M. An approach for determining the requirements of computerized maintenance management systems. *Computers in Industry*, 59, 32-40, 2008.

KEENEY, R. L. Value-focused thinking: A Path to Creative Decisionmaking, Harvard University Press, Massachusetts, USA, 1992.

KOBBACY, K. A. H.; MURTHY, D. N. P. Complex System Maintenance Handbook, Springer, London, 2008.

KOCHAKI, J.; BOKHORST, J.; WORTMANN, H., KLINGENBERG, W. Evaluating condition based maintenance effectiveness for two processes in series. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 17(4), 398-414, 2011.

LÖFSTEN, H. Measuring maintenance performance: in search for a maintenance productivity. *International Journal of Production Economics*, 63, 2000.

MARLEY, J. Efficacy, effectiveness, efficiency. *Australian Prescriber*, 23 (6), 114-115, 2000.

MARTORELL, S.; SANCHEZ, A.; MUÑOZ, A.; PITARCH, J. L.; SERRADELL, V.; ROLDAN, J. The use of maintenance indicators to evaluate the effects of maintenance programs on NPP performance and safety. *Reliability Engineering and System Safety*, 65, 85-94, 1999.

MARTORELL, P.; MARTÓN, I.; SÁNCHEZ, A. I.; MARTORELL, S. Unavailability model for demand-caused failures of safety components addressing degradation by demand-induced stress, maintenance effectiveness and test efficiency. *Reliability Engineering and System Safety*, 168, 18-27, 2017.

MCCALL, J. J. Maintenance Policies for Stochastically Failing Equipment: A Survey. *Management Science*, 11(5), 493-524, 1965.

MEISTER, D. The Problem of Human-Initiated Failures. *Proceedings of the 8<sup>th</sup> National Symposium on Reliability and quality Control*, 234-239, 1962.

MKILANIA, J. N. Factors Related to Human Resource Affecting the Maintenance Effectiveness in Tanzanian Industries. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology (IJMET)*, 7(3), 150-160, 2016.

MOBLEY, R. K. An Introduction to Predictive Maintenance. 2 ed. Butterwoth-Heinemann, USA, 2002.

MOFOKENG, T.; MATIVENGA, P. T.; MARNEWICK, A. Analysis of aircraft maintenance processes and cost. *Procedia CIRP*, 90, 467-472, 2020.

MOUBRAY, John. Reliability-centered maintenance. *Industrial Press Inc.*, 2001.

OKE, S. A.; IGHRAVWE, D. E. A fuzzy-weighted aggregate sum product assessment methodical approach for multi-criteria analysis of maintenance performance systems. *International Journal of System Assurance Engineering and Management*, 8 (2), 961-973, 2017.

OKOH, P.; HAUGEN, S. The influence of maintenance on some selected major accidents. *Chemical Engineering Transactions*, 31, 493-498, 2013.

OLIVEIRA, M. A.; LOPES, I. Evaluation and improvement of maintenance management performance using a maturity model. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 2019.

PARK, K.S.; HAN, S. W. TPM – Total Productive Maintenance: Impact on Competitiveness and a Framework for Successful Implementation. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing*, 11(4), 321-338, 2001.

PINTELON, L.; PINJALA, S. K. Evaluating the effectiveness of maintenance strategies. *Journal of Quality in Maintenance*, 12 (1), 7-20, 2006.

PORTER, M. E. *Competitive Strategy: Techniques for analyzing industries and competition*. The Free Press, New York, 1980.

RANA, A.; KOROITAMANA, E. V. M. Measuring Maintenance Activity Effectiveness. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 24 (4), 437-448, 2018.

REASON, J.; HOBBS, A. *Managing maintenance error: a practical guide*. CRC Press, Boca Raton, FL, 2003.

ROY, B. *Multicriteria methodology for decision aiding*. Kluwer Academic Publishers, 1996.

SAMAT, H. A.; KAMARUDDIN, S.; AZID, I. A. Integration of Overall Equipment Effectiveness (OEE) and Reliability Method for Measuring Machine Effectiveness. *South African Journal of Industrial Engineering*, 23, 92-113, 2012.

SAUER, D.; CAMPBELL, W. B.; POTTER, N. R.; ASKERN, W. B. *Relationships Between Human Resource Factors and Performance on Nuclear Missile Handling Tasks*. Air Force Human Resources Laboratory/Air Force Weapons Laboratory, Wright-Patterson Air Force Base, Ohio, 1976.

SÉNÉCHAL, O. Performance indicators nomenclatures for decision making in sustainable conditions based maintenance. *IFAC PapersOnLine*, 51 (11), 1137-1142, 2018.

SOBRAL, F.; PECCI, A. *Administração: teoria e prática no contexto brasileiro*. Pearson, São Paulo, 2008.

SCARF, P. A. On the application on mathematical models in maintenance. *European Journal of Operational Research*, 99, 493-506, 1997.

SCARF, P. A.; CAVALCANTE, C. A. V.; DWIGHT, R. A.; GORDON, P. An Age-Based Inspection and Replacement Policy for Heterogeneous Components. *IEEE Transactions on Reliability*, 58 (4), 641-648, 2009.

SCARF, P. A.; CAVALCANTE, C. A. V. Hybrid block replacement and inspection policies for a multi-component system with heterogeneous component lives. *European Journal of Operational Research*, 206, 384-394, 2010.

SCARF, P. A.; CAVALCANTE, C. A. V. Modelling quality in replacement and inspection maintenance. *International Journal of Production Economics*, 135, 372-381, 2012.

SCOTT, W. B.; ENDERLIN, W. I.; CHOCKE, A. D.; BJORKELO, K. A. Good practices for effective maintenance to manage aging of nuclear power plants. *Nuclear Engineering and Design*, 134, 257-265, 1992.

SINHA, P. Towards higher maintenance effectiveness: integrating maintenance management with reliability engineering. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 32 (7), 754-762, 2015.

SKYTTNER, L. *General Systems Theory: Problems, Perspectives, Practice*. 2 ed. World Scientific, Singapore, 2005.

STEFFEN, B.; BEUSE, M.; TAUTORAT, P.; SCHMIDT, T. S. Experience Curves for Operations and Maintenance Costs of Renewable Energy Technologies. *Joule*, 4, 1-17, 2020.

TAYLOR, J. C. The evolution and effectiveness of Maintenance Resource Management (MRM). *International Journal of Industrial Ergonomics*, 26, 201-215, 2000.

TUYET, N. T. A.; CHOU, S. Maintenance strategy selection for improving cost-effectiveness of offshore wind systems. *Energy Conversion and Management*, 157, 86-95, 2018.

YOU, M-Y. A predictive maintenance system for hybrid degradation processes. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 34(7), 1123-1135, 2017.

ZHOU, Y.; MA, L.; MATHEW, J.; SUN, Y.; WOLFF, R. Maintenance strategy optimization using a continuous-state partially observable semi-Markov decision process. *Microelectronics Reliability*, 51, 300-309, 2011.

ZIDANE, Y. J. -T.; OLSSON, N. O. E. Defining project efficiency, effectiveness and efficacy. *International Journal of Managing Projects in Business*, 10 (3), 621-641, 2017.

## APÊNDICE A – Detalhamento da Avaliação “Micro” para Dimensão “Nível de Melhoria Operacional”

### Avaliação Micro – Nível de Melhoria Operacional (D1)

Objetivo Estratégico: Avaliar a melhoria de índices operacionais pela adoção da política de manutenção

<b>Objetivos fundamentais</b>	
<b>Fator-chave</b>	<b>Objetivo Fundamental</b>
Confiabilidade (D1F1)	Avaliar o nível de melhoria proporcionado pela política de manutenção em termos de confiabilidade da operação do equipamento/componente mantido
Disponibilidade (D1F2)	Avaliar o nível de melhoria proporcionado pela política de manutenção em termos de disponibilidade operacional do equipamento/componente mantido
Custos (D1F3)	Avaliar o nível de melhoria proporcionado pela política de manutenção em termos de custos incorridos na operação do equipamento/componente mantido

#### 1. Fator-Chave “Confiabilidade” (D1F1):

<b>Perguntas para enquadramento com Grupos de Relevância</b>	
<b>Grupo de Relevância</b>	<b>Questionamento</b>
Sistemas complexos, Custoso ou Exclusivos (D1GR1)	O sistema trabalha com equipamentos/componentes de alta complexidade, custo ou exclusividade?
Sistemas de Segurança e Alto Risco (D1GR2)	O sistema é responsável pela segurança operacional e/ou apresenta alto risco à operação como um todo?
Sistemas de Prontidão (D1GR3)	O sistema apresenta finalidade em manter-se no estado de prontidão operacional?

<b>Enunciados para pontuação de Indicadores relevantes</b>	
<b>Indicador</b>	<b>Medida traduzida</b>
Razão de Tempo Médio Entre Falhas ( <i>RTMEF</i> ) (D1F1IND1)	Mensuração do nível de melhoria operacional em termos da redução do Tempo Médio Entre Falhas ( <i>MTBF</i> ) proporcionada pela adoção da política de manutenção
Razão de Falhas de Prontidão ( <i>RFP</i> ) (D1F1IND2)	Mensuração do nível de melhoria operacional em termos da redução das Falhas de Prontidão ( <i>FP</i> ) proporcionada pela adoção da política de manutenção

## Avaliação Micro – Nível de Melhoria Operacional (D1)

## 2. Fator-Chave “Disponibilidade” (D1F2):

Perguntas para enquadramento com Grupos de Relevância	
Grupo de Relevância	Questionamento
Sistemas com Continuidade Operacional Crítica (D1GR4)	É crítico/primordial que o sistema se mantenha em operação contínua?
Sistemas com Penalização Crítica por Indisponibilidade (D1GR5)	O sistema sofre duras penalizações por unidade de tempo indisponível (financeiras, legais, etc.)?

Enunciados para pontuação de Indicadores relevantes	
Indicador	Medida traduzida
Razão de Disponibilidade ( <i>RD</i> ) (D1F2IND1)	Mensuração do nível de melhoria operacional em termos do aumento da Disponibilidade Alcançada ( <i>Aa</i> ) ou Razão <i>Uptime-Total Time (UT)</i> proporcionado pela adoção da política de manutenção
Razão de Tempo Médio de Reparo ( <i>RTMR</i> ) (D1F2IND2)	Mensuração do nível de melhoria operacional em termos da redução do Tempo Médio para Reparo ( <i>MTTR</i> ) proporcionada pela adoção da política de manutenção

## Avaliação Micro – Nível de Melhoria Operacional (D1)

## 3. Fator-Chave “Custos” (D1F3):

Perguntas para enquadramento com Grupos de Relevância
Grupo de Relevância
-- Crítico para todos os sistemas operacionais --

Enunciados para pontuação de Indicadores relevantes	
Indicador	Medida traduzida
Razão de Custos ( <i>RC</i> ) (D1F3IND1)	Mensuração do nível de melhoria operacional em termos da redução do Custo de longo prazo por unidade de tempo ( $C_{\infty}$ ), Custo do Sistema ( $r_i$ ) ou Custo Unitário Médio ( <i>AUC</i> ) proporcionada pela adoção da política de manutenção
Razão dos Custos com a Produção ( <i>RCP</i> ) (D1F3IND2)	Mensuração do nível de melhoria operacional em termos da redução do Custo por Unidade de Produção ( <i>CP</i> ) proporcionada pela adoção da política de manutenção

## APÊNDICE B – Detalhamento da Avaliação “Micro” para Dimensão “Qualidade dos Recursos de Manutenção”

Avaliação Micro – Dimensão: Qualidade dos Recursos de Manutenção (D2)

Objetivo Estratégico: Avaliar a melhoria de índices operacionais pela adoção da política de manutenção

<b>Objetivos fundamentais</b>	
<b>Fator-chave</b>	<b>Objetivo Fundamental</b>
Peças sobressalentes (D2F1)	Avaliar a qualidade das peças sobressalentes empregadas através de ações próprias à política de manutenção
Estrutura de Manutenção (D2F2)	Avaliar a qualidade da estrutura utilizada para implementar ações próprias à política de manutenção
Condições Ambientais (D2F3)	Avaliar a “qualidade” das condições ambientais que englobam a atuação da política de manutenção
Recursos Humanos (D2F4)	Avaliar a qualidade dos recursos humanos empregados na execução de ações próprias à política de manutenção

1. Fator-Chave “Peças sobressalentes” (D2F1):

<b>Perguntas explicitadoras de Itens relevantes</b>	
<b>Item</b>	<b>Questionamento</b>
Componentes sobressalentes (D2F1IT1)	Uso de componentes sobressalentes é necessário durante execução da política de manutenção?

<b>Perguntas para enquadramento com Grupos de Relevância</b>	
<b>Grupo de Relevância</b>	<b>Questionamento</b>
Sistemas de Alta Criticidade (D2GR1)	A manutenção lida com componentes de alta criticidade?
Sistemas de Vulnerabilidade a Fornecedor de Estoques (D2GR2)	O sistema é sensível à Gestão de Estoques?

<b>Enunciados para pontuação de Aspectos relevantes</b>	
<b>Aspecto</b>	<b>Medida traduzida</b>
Operação defeituosa não-prejudicial (D2F1IT1A1)	Permissividade na operação de itens em estado defeituoso não-prejudicial ao sistema
Testes operacionais pós-substituição (D2F1IT1A2)	Teste operacional imediatamente após intervenções de substituição
Inspeções pós-substituição (D2F1IT1A3)	Inspeções frequentes após substituição
Monitoramento contínuo informatizado (D2F1IT1A4)	Uso de sistemas informatizado para acompanhamento e processamento do estado operacional
Fornecedor de sobressalentes (D2F1IT1A5)	Diversificação de fornecedores de sobressalentes, com foco sob OEM
Operações de restauração e conserto (D2F1IT1A6)	Realizar restauração, conserto e reuso de itens usados não-prejudiciais ao sistema
Gestão de Estoques (D2F1IT1A7)	Otimização da gestão e armazenagem de sobressalentes

## Avaliação Micro – Dimensão: Qualidade dos Recursos de Manutenção (D2)

## 2. Fator-Chave “Estrutura de Manutenção” (D2F2):

<b>Perguntas explicitadoras de Itens relevantes</b>	
<b>Item</b>	<b>Questionamento</b>
Instalações físicas (D2F2IT1)	A política de manutenção se baseia na existência de uma instalação física?
Insumos de manutenção (D2F2IT2)	É necessário o uso de materiais consumíveis na execução da política de manutenção?
Equipamento de uso pessoal (D2F2IT3)	É necessário o uso de equipamentos voltados ao uso pessoal do mantenedor para execução das atividades de manutenção?
Ferramentas (D2F2IT4)	É necessário o uso de ferramentas para a execução das atividades relativas à política de manutenção?
<b>Perguntas para enquadramento com Grupos de Relevância</b>	
<b>Grupo de Relevância</b>	<b>Questionamento</b>
Sistemas de Difícil Acesso (D2GR3)	O acesso ao componente/equipamento mantido é difícil?
Sistemas sob Condições Adversas de Operação (D2GR4)	A manutenção deve ser conduzida sob condições adversas à homeostase do mantenedor?
Sistemas de Alta Complexidade e Especificidade (D2GR5)	O componente/equipamento mantido apresenta elevado nível de complexidade/especificidade?
<b>Enunciados para pontuação de Aspectos relevantes</b>	
<b>Aspecto</b>	<b>Medida traduzida</b>
Testes operacionais prévios (D2F2IT1A1) = (D2F2IT2A1)	Testes operacionais do recurso prévios à intervenção de manutenção com instalações/insumos a serem usados/consumidos
Dispositivos redundantes de segurança (D2F2IT1A2)	Instalação/manutenção de dispositivos redundantes para segurança do recurso
Inspeção periódica (D2F1IT1A3)	Inspeções periódicas do recurso utilizado na manutenção
Substituição periódica (D2F2IT2A2) = (D2F2IT3A1)	Substituição periódica do recurso em acordo com limites de validade/recomendações do OEM
Armazenagem e conservação (D2F2IT2A3) = (D2F2IT3A2) = (D2F2IT4A1)	Correta armazenagem e conservação do recurso de acordo com recomendações do OEM
Revisão do estado operacional (D2F2IT2A4) = (D2F2IT3A3) = (D2F2IT4A2)	Revisar periodicamente o estado operacional do recurso
Utilização correta (D2F2IT3A4) = (D2F2IT4A3)	Utilização do recurso em acordo com as recomendações do OEM
Manutenção periódica (D2F2IT4A3)	Manutenção periódica (inspeção, reparo, substituição) do recurso

## Avaliação Micro – Dimensão: Qualidade dos Recursos de Manutenção (D2)

## 3. Fator-Chave “Condições Ambientais” (D2F3):

<b>Perguntas explicitadoras de Itens relevantes</b>	
<b>Item</b>	<b>Questionamento</b>
Condições Climáticas (D2F3IT1)	Efetividade das ações de manutenção dependem de condições climáticas favoráveis?
Recursos Naturais (D2F3IT2)	O uso de recursos naturais é necessário durante a execução da política de manutenção?
Meio de operação (D2F3IT3)	Os entornos do local da manutenção influenciam as ações executadas?

<b>Perguntas para enquadramento com Grupos de Relevância</b>	
<b>Grupo de Relevância</b>	<b>Questionamento</b>
Sistemas com Manutenção ao Ar Livre (D2GR6)	A manutenção necessariamente deve ocorrer ao ar livre? (ao menos parcialmente)
Sistemas com Manutenção Consumidora de Recursos Naturais (D2GR7)	O uso de recursos naturais é intenso e/ou essencial ao desempenho das ações de manutenção?
Sistemas com Manutenção no Local de Operação (D2GR8)	O equipamento/componente precisa passar por manutenção enquanto fixo no entorno de operação?

<b>Enunciados para pontuação de Aspectos relevantes</b>	
<b>Aspecto</b>	<b>Medida traduzida</b>
Monitoramento Meteorológico (D2F3IT1A1)	Acompanhamento e consideração da previsão do tempo no agendamento de atividades de manutenção
Flexibilidade para reagendamentos (D2F3IT1A2) = (D2F3IT2A1)	Calendário de manutenção prevê/comporta remanejamentos para ações de manutenção
Planejamento de contingência (D2F3IT1A3) = (D2F3IT2A2)	Existência de um plano reserva para operação regular temporária sem intervenções de manutenção
Monitoramento de abastecimento (D2F3IT2A3)	Monitoramento do abastecimento regular de recurso necessário à manutenção
Manutenção alternativa (D2F3IT2A4)	Existência de um plano reserva para manutenção na ausência/escassez do recurso
Proteção de seções sensíveis (D2F3IT3A1)	Proteção de seções sensíveis do componente/equipamento sendo mantido, durante intervenção de manutenção
Agendamento de manutenção (paradas) (D2F3IT3A2)	Agendamento de ações de manutenção para momentos de parada programada do sistema
Aproveitamento de oportunidades (paradas) (D2F3IT3A3)	Realização antecipada da manutenção sob momentos de parada imprevista do sistema

## Avaliação Micro – Dimensão: Qualidade dos Recursos de Manutenção (D2)

## 4. Fator-Chave “Recursos Humanos” (D2F4):

<b>Perguntas explicitadoras de Itens relevantes</b>	
<b>Item</b>	<b>Questionamento</b>
Motivação (D2F4IT1)	Efetividade das ações de manutenção depende da motivação do mantenedor?
Capacitação (D2F4IT2)	Efetividade das ações de manutenção são impactadas pelo treinamento do mantenedor?
Erro intrínseco humano (D2F4IT3)	Ações de manutenção dependem da ação de mantenedores?

<b>Perguntas para enquadramento com Grupos de Relevância</b>	
<b>Grupo de Relevância</b>	<b>Questionamento</b>
Sistemas com manutenção Repetitiva (D2GR9)	O sistema emprega atividades repetitivas executadas por mantenedor?
Sistemas com Intenso Emprego de Trabalho Humano (D2GR10)	Grande parte das atividades de manutenção requerem trabalho humano?
Sistemas Complexos e Multifacetados (D2GR11)	O sistema apresenta complexidade para trabalho do mantenedor?

<b>Enunciados para pontuação de Aspectos relevantes</b>	
<b>Aspecto</b>	<b>Medida traduzida</b>
Cultura organizacional de manutenção (D2F4IT1A1)	Programas de interação/socialização entre mantenedores
Rotação de atividades (D2F4IT1A2) = (D2F4IT2A1)	Rotação/alternação das atividades executadas regularmente por um mantenedor
Treinamentos e reciclagens (D2F4IT2A2)	Realização contínua de treinamentos e reciclagens de conhecimento de mantenedores
Atualização e revisão de protocolos (D2F4IT2A3)	Constante atualização e revisão de protocolos técnicos da manutenção
Divisão de tarefas (D2F4IT2A4) = (D2F4IT3A1)	Divisão de tarefas entre mantenedores especializados
Revisão de atividades (D2F4IT3A2)	Revisão de atividades de manutenção conduzidas por mantenedores
Regularidade de intervenções (D2F4IT3A4)	Regularidade no agendamento/execução de atividades conduzidas por mantenedores

## APÊNDICE C – Detalhamento da Avaliação “Micro” para Dimensão “Esforço Gerencial”

Avaliação Micro – Dimensão: Esforço Gerencial (D3)

Objetivo Estratégico: Avaliar o esforço da gerência em operacionalizar a política de manutenção

<b>Objetivos fundamentais</b>	
<b>Fator-chave</b>	<b>Objetivo Fundamental</b>
Implementação (D3F1)	Avaliar o esforço para implementar a política de manutenção sobre o equipamento/componente determinado
Execução continuada (D3F2)	Avaliar o esforço para manter a operação da política de manutenção sobre o equipamento/componente determinado

### 1. Fator-Chave “Implementação” (D3F1):

<b>Perguntas explicitadoras de Itens relevantes</b>	
<b>Item</b>	<b>Questionamento</b>
Maturidade do Modelo (D3F1IT1)	A política de manutenção já é bem consolidada e/ou extensivamente desenvolvida na literatura e/ou aplicações práticas industriais?
Complexidade de Implementação (D3F1IT2)	A política de manutenção representa um desafio à gerência no tocante à sua complexidade para implementação?

<b>Perguntas para enquadramento com Grupos de Relevância</b>	
<b>Grupo de Relevância</b>	<b>Questionamento</b>
Sistemas com Função Manutenção Não Consolidada (D3GR1)	O departamento de manutenção é bem capacitado para implementar a política de manutenção?
Sistemas com Restrições no Processo de Implementação (D3GR2)	Restrições organizacionais são impostas ao departamento de Manutenção no tocante à implementação da política de manutenção?

<b>Enunciados para pontuação de Aspectos relevantes</b>	
<b>Aspecto</b>	<b>Medida traduzida</b>
Desenvolvimento acadêmico (D3F1IT1A1)	Extenso prévio desenvolvimento acadêmico acerca da política de manutenção
Número de ações e recursos empregados (D3F1IT2A1)	Apropriado/sucinto quantitativo de possíveis ações e recursos a serem empregados
Sensibilidade a hipóteses e demandas teóricas (D3F1IT2A2)	Apropriada/moderada sensibilidade a hipóteses e demandas do modelo teórico da política de manutenção

## Avaliação Micro – Dimensão: Esforço Gerencial (D3)

## 2. Fator-Chave “Execução Continuada” (D3F2):

Perguntas explicitadoras de Itens relevantes	
Item	Questionamento
Variáveis de controle (D3F2IT1)	A política de manutenção adota um número considerável de variáveis de controle durante sua execução?
Alterações em <i>runtime</i> (D3F2IT2)	A política de manutenção prevê alterações durante sua execução?
Complexidade da execução continuada (D3F2IT3)	A política de manutenção apresenta relativa complexidade gerencial durante sua execução (coordenação de atividades e equipes, gestão de recursos, etc)?

Perguntas para enquadramento com Grupos de Relevância	
Grupo de Relevância	Questionamento
Sistemas com Função Manutenção Não Consolidada (D3GR3)	O departamento de manutenção é bem capacitado para executar continuamente a política de manutenção?
Sistemas com Pouca Agilidade/Flexibilidade para Tomada de Decisão (D3GR4)	O departamento de manutenção sofre com pouca agilidade/flexibilidade na tomada de decisão durante a execução de uma política de manutenção?

Enunciados para pontuação de Aspectos relevantes	
Aspecto	Medida traduzida
Número de variáveis de decisão (D3F2IT1A1)	Sucinto número de variáveis sob decisão da gerência durante execução da política
Sensibilidade a oscilações nas variáveis de decisão (D3F2IT1A2)	Sensibilidade moderada/reduzida a oscilações nas variáveis de decisão durante execução da política
Oportunidades para manutenção (D3F2IT1A3) = (D3F2IT2A1)	Aproveitamento de oportunidades no sistema para execução de ações propostas na política
Previsibilidade em agendamentos (D3F2IT2A2)	Adoção de calendário regular/previsível para agendamento de atividades relativas à política
Uso de ferramentas informatizadas (D3F2IT1A4) = (D3F2IT2A3) = (D3F2IT3A1)	Uso de sistemas/ferramentas informatizadas para otimização das variáveis de manutenção, tomada de decisão em <i>runtime</i> e coordenação das atividades da política de manutenção
Ações conjuntas para manutenção (D3F2IT2A4) = (D3F2IT3A2)	Priorização de ações conjuntas tipo “lote” para manutenção
Coordenação das ações planejadas (D3F2IT3A3)	Simplificação na coordenação de ações planejadas na política de manutenção

## APÊNDICE D – Detalhamento da Avaliação “Micro” para Dimensão “Alinhamento Estratégico”

Avaliação Micro – Dimensão: Alinhamento Estratégico (D4)

Objetivo Estratégico: Avaliar o alinhamento da política de manutenção com a Estratégia Corporativa da organização

<b>Objetivos fundamentais</b>	
<b>Fator-chave</b>	<b>Objetivo Fundamental</b>
Relacionamento com consumidores (D4F1)	Avaliar o alinhamento da política de manutenção com a postura estratégica corporativa adotada no relacionamento com consumidores
Relacionamento com fornecedores (D4F2)	Avaliar o alinhamento da política de manutenção com a postura estratégica corporativa adotada no relacionamento com fornecedores
Competição de Mercado (D4F3)	Avaliar o alinhamento da política de manutenção com a postura estratégica corporativa adotada na competição de mercado

1. Fator-Chave “Relacionamento com consumidores” (D4F1):

<b>Perguntas explicitadoras de Itens relevantes</b>	
<b>Item</b>	<b>Questionamento</b>
Qualidade (D4F1IT1)	A postura estratégica corporativa adota um foco sobre qualidade do produto entregue aos consumidores?
Custo (D4F1IT2)	A postura estratégica corporativa adota um foco sobre custo do produto entregue aos consumidores?
Rapidez (D4F1IT3)	A postura estratégica corporativa adota um foco sobre rapidez na entrega do produto aos consumidores?

<b>Enunciados para pontuação de Aspectos relevantes</b>	
<b>Aspecto</b>	<b>Medida traduzida</b>
Ações preventivas (D4F1IT1A1)	Intensificação de ações preventivas/proativas, minimizando tempo no estado defeituoso
Indução de defeitos (D4F1IT1A2)	Mitigação do fenômeno de indução de defeitos, minimizando tempo no estado defeituoso
Número de ações de manutenção (D4F1IT2A1) = (D4F1IT3A1)	Minimização do número de ações de manutenção
Uso do indicador <b>RCP</b> (custos) (D4F1IT2A2)	Minimização de custos totais com mensuração pelo indicador <b>RCP</b>
Uso de itens reciclados/reutilizados (D4F1IT2A3)	Priorização do uso de itens reciclados/reutilizados
Operações de restauração e conserto (D4F1IT2A4)	Priorização de ações de manutenção dos tipos restauração e conserto
Uso do indicador <b>RD</b> (disponibilidade) (D4F1IT3A2)	Maximização da disponibilidade com mensuração pelo indicador <b>RD</b>
Ações conjuntas para manutenção (D4F1IT3A3)	Priorização de ações conjuntas em “lotes” para manutenção
Oportunidades para manutenção (D4F1IT3A4)	Aproveitamento de oportunidades no sistema para execução de ações propostas na política
Redução do tempo de execução de ações (D4F1IT3A5)	Minimização do tempo de execução para atividades de manutenção

## Avaliação Micro – Alinhamento Estratégico (D4)

## 2. Fator-Chave “Relacionamento com fornecedores” (D4F2):

<b>Perguntas explicitadoras de Itens relevantes</b>	
<b>Item</b>	<b>Questionamento</b>
Focalização (D4F2IT1)	A postura estratégica corporativa adota uma focalização dos fornecedores de recursos à manutenção?
Diversificação (D4F2IT2)	A postura estratégica corporativa adota uma diversificação dos fornecedores de recursos à manutenção?

<b>Enunciados para pontuação de Aspectos relevantes</b>	
<b>Aspecto</b>	<b>Medida traduzida</b>
Gestão de Estoques (D4F2IT1A1)	Otimização da gestão e armazenagem de componentes fornecidos
Teste prévio de componentes (D4F2IT1A2)	Teste prévio de componentes fornecidos, antes de inseridos no sistema
Testes operacionais pós-substituição (D4F2IT1A3)	Teste operacional imediatamente após intervenções de substituição
Inspeção pós-substituição (D4F2IT1A4)	Inspeções após substituição
Modelagem heterogênea para componentes (D4F2IT2A1)	Modelagem teórica heterogênea para confiabilidade dos componentes inseridos no sistema
Modelagem heterogênea para serviços prestados (D4F2IT2A2)	Modelagem teórica heterogênea estocástica para efeito de indução de erro por fatores humanos (serviços prestados)

## Avaliação Micro – Alinhamento Estratégico (D4)

## 3. Fator-Chave “Competição de Mercado” (D4F3):

<b>Perguntas explicitadoras de Itens relevantes</b>	
<b>Item</b>	<b>Questionamento</b>
Custo (D4F3IT1)	A postura estratégica corporativa adota uma competição por custo com demais atuantes no mercado?
Diferenciação (D4F3IT2)	A postura estratégica corporativa adota uma competição por diferenciação com demais atuantes no mercado?

<b>Enunciados para pontuação de Aspectos relevantes</b>	
<b>Aspecto</b>	<b>Medida traduzida</b>
Uso do indicador <i>RCP</i> (custos) (D4F3IT1A1)	Minimização de custos totais com mensuração pelo indicador <i>RCP</i>
Número de ações de manutenção (D4F3IT1A2)	Minimização do número de ações de manutenção
Uso de itens reciclados/reutilizados (D4F3IT1A3)	Priorização do uso de itens reciclados/reutilizados
Operações de conserto e revitalização (D4F3IT1A4)	Priorização de ações de manutenção dos tipos restauração/revitalização e conserto
Ações preventivas (D4F3IT2A1)	Intensificação de ações preventivas/proativas, minimizando tempo no estado defeituoso
Indução de defeitos (D4F3IT2A2)	Mitigação do fenômeno de indução de defeitos, minimizando tempo no estado defeituoso
Ações conjuntas para manutenção (D4F3IT2A3)	Priorização de ações conjuntas em “lotes” para manutenção
Oportunidades para manutenção (D4F3IT2A4)	Aproveitamento de oportunidades no sistema para execução de ações propostas na política
Redução do tempo de execução de ações (D4F3IT2A5)	Minimização do tempo de execução para atividades de manutenção

## APÊNDICE E – Ficha de Análise qualitativa para Efetividade de Manutenção

### Análise qualitativa para Efetividade em Manutenção – *Guidelines* Instrutivas

**Objetivo:** Propor diretrizes na forma de *guidelines* instrutivas para concepção de política de manutenção personalizada ao contexto prático de operação, com potencial para efetividade “máxima” segundo Modelo Multidimensional para Avaliação da Efetividade de Políticas de Manutenção

Elementos relevantes	
Dimensão	Fatores-chave
Qualidade dos Recursos de Manutenção (D2)	Condições Ambientais; [Fator chave qualquer]
[Dimensão relevante qualquer]	[Fatores-chave relevantes quaisquer]

#### 1. Dimensão “Qualidade dos Recursos de Manutenção” (D2):

Fatores-chave relevantes e Recomendações	
Fator-chave relevante	Recomendações
Condições Ambientais	<p>Acompanhamento e consideração da previsão do tempo no agendamento de atividades de manutenção;</p> <p>Calendário de manutenção com previsão para remanejamentos para ações de manutenção;</p> <p>Existência de um plano reserva para operação regular temporária sem intervenções de manutenção;</p> <p>Monitoramento do abastecimento regular de recurso necessário à manutenção;</p> <p>Existência de um plano reserva para manutenção na ausência/escassez do recurso;</p> <p>Proteção de seções sensíveis do componente/equipamento sendo mantido, durante intervenção de manutenção;</p> <p>Agendamento de ações de manutenção para momentos de parada programada do sistema;</p> <p>Realização antecipada da manutenção sob momentos de parada imprevista do sistema.</p>
[Fator-chave relevante qualquer]	[Recomendações relevantes quaisquer]