



Pós-Graduação em Ciência da Computação

Cinthy Cavalcanti Flório

SMIPP: Processo de Priorização Inteligente em Parada de Manutenção de Ativos Físicos



Universidade Federal de Pernambuco

posgraduacao@cin.ufpe.br

<http://cin.ufpe.br/~posgraduacao>

Recife
2025

Cinthy Cavalcanti Flório

SMIPP: Processo de Priorização Inteligente em Parada de Manutenção de Ativos Físicos

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciência da Computação do Centro de Informática da Universidade Federal de Pernambuco como requisito parcial para obtenção do grau de Doutor em Ciência da Computação.

Orientador: Prof. Dr. Silvio Romero de Lemos Meira

Coorientadora: Prof.^a Dr.^a Fernanda Maria Ribeiro de Alencar

Recife
2025

.Catalogação de Publicação na Fonte. UFPE - Biblioteca Central

Flório, Cinthya Cavalcanti.

SMIPP: Processo de Priorização Inteligente em Parada de Manutenção de Ativos Físicos / Cinthya Cavalcanti Flório. - Recife, 2025.

399f.: il.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Informática, Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação, 2024.

Orientação: Silvio Romero de Lemos Meira.

Inclui referências e apêndices.

1. Priorização; 2. Análise multicritério de apoio à decisão; 3. Inteligência Artificial; 4. Gestão de ativos; 5. Atividades de manutenção. I. Meira, Silvio Romero de Lemos. II. Coorientadora: Fernanda Maria Ribeiro de Alencar. III. Título.

UFPE-Biblioteca Central

Cinthy Cavalcanti Flório

“SMIPP: Processo de Priorização Inteligente em Parada de Manutenção de Ativos Físicos”

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Ciência da Computação. Área de Concentração: Engenharia de Software e Linguagens de Programação.

Aprovada em: 18/12/2024.

Orientador: Prof. Dr. Silvio Romero de Lemos Meira

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Hermano Perrelli de Moura
Centro de Informática/UFPE

Profª. Dra. Aêda Monalliza Cunha de Sousa
UPE / Campus Garanhuns

Prof. Dr. Johnny Cardoso Marques
Instituto Tecnológico da Aeronáutica

Prof. Dr. João Henrique Correia Pimentel
UFRPE/Unidade Acadêmica do
Cabo de Santo Agostinho

Profª. Dra. Marcia Jacyntha Nunes Rodrigues
Lucena
Depto de Informática e Matemática Aplicada/UFRN

RESUMO

Atualmente, a manutenção de ativos não trata apenas de consertar o que quebrou. Abrange maneiras de detectar, antecipadamente, possível falha que um ativo tenha. Inclui o monitoramento desse ativo. A manutenção de ativos físicos deve ser realizada de forma organizada e planejada para preservá-los, prolongar sua vida útil, controlar seu ciclo de vida, entre outros. A situação é mais crítica durante paradas de manutenção pois o ativo precisará estar, momentaneamente, inoperante. Isso impacta diretamente no tempo e custo alocados para a manutenção, que, na maioria das vezes, são restritos. Por causa disso, o planejamento e a priorização de atividades da manutenção de ativos físicos, durante paradas de manutenção, são importantes para as corporações. Essas atividades apesar de relevantes, são complexas devido às diversas alternativas possíveis, a diferentes pontos de vista dos *stakeholders* e a fatores externos. Esse fato ainda leva à lacuna de métodos, processos, modelos e *frameworks* que auxiliem o gestor de ativos a alinhar as políticas da manutenção dos ativos com as estratégias de negócio das organizações, através do planejamento e da execução da priorização de atividades da manutenção. Estudos na literatura sobre a priorização das atividades de manutenção, possuem lacunas severas que inviabilizam a identificação de quais agrupamentos de atividades de manutenção, de sistemas multiativos homogêneos, aumentam o retorno do investimento em paradas de manutenção com restrições de tempo e orçamento. Assim, vários aspectos da priorização de atividades de manutenção acabam sendo negligenciados. Neste trabalho, tem-se como objetivo ajudar à identificação dos agrupamentos de atividades da manutenção, de sistemas multiativos homogêneos, que aumentam o retorno do investimento em paradas de manutenção com restrições de tempo e orçamento. Para isso, é apresentado um processo iterativo e incremental que usa tecnologias de Inteligência Artificial (IA) para o planejamento e a execução da priorização de grupos de atividades de manutenção, trata-se do Shutdown Maintenance Intelligent Prioritisation Process (SMIPP). Esse processo foi avaliado de duas formas distintas. A primeira por meio de simulação e a segunda por meio de *survey* com especialistas. Com a simulação, investigou-se a aplicabilidade do processo proposto através da utilização de uma ferramenta de apoio desenvolvida. Com o *survey*, verificou-se a aderência do processo SMIPP aos dez princípios de um bom gerenciamento de processo de negócio. Os resultados obtidos nos testes de hipótese das simulações foram positivos, pois a hipótese nula dos índices foi rejeitada em muitos casos. Os resultados no *survey* mostraram que os participantes utilizariam o processo na sua empresa, pois ajuda na integração dos diferentes departamentos da empresa, engaja o gestor de ativos com os outros tomadores de decisão, entre outros aspectos avaliados.

Palavras-chaves: Priorização. Análise multicritério de apoio à decisão. Inteligência Artificial. Gestão de ativos. Atividades de manutenção.

ABSTRACT

These days, asset maintenance isn't just about fixing what's broken. It covers ways to detect, in advance, possible failure of an asset. Includes monitoring of this asset. The maintenance of physical assets must be carried out in an organized and planned manner to preserve them, extend their useful life, control their life cycle, among others. The situation is more critical during maintenance shutdowns as the asset will need to be momentarily inoperative. This directly impacts the time and cost allocated to maintenance, which, in most cases, are restricted. Because of this, planning and prioritizing physical asset maintenance activities during maintenance shutdowns are important for corporations. These activities, although relevant, are complex due to the different possible alternatives, different points of view of *stakeholders* and external factors. This fact still leads to a lack of methods, processes, models and *frameworks* that help the asset manager to align asset maintenance policies with the organizations' business strategies, through planning and executing the prioritization of activities. of maintenance. Studies in the literature on the prioritization of maintenance activities have severe gaps that make it impossible to identify which groupings of maintenance activities, of homogeneous multi-active systems, increase the return on investment in maintenance shutdowns with time and budget restrictions. Thus, several aspects of prioritizing maintenance activities end up being neglected. In this work, the objective is to help identify groupings of maintenance activities, of homogeneous multi-active systems, which increase the return on investment in maintenance stops with time and budget restrictions. To this end, an iterative and incremental process is presented that uses IA technologies for planning and executing the prioritization of groups of maintenance activities, this is SMIPP. This process was evaluated in two different ways. The first through simulation and the second through *survey* with experts. With the simulation, the applicability of the proposed process was investigated through the use of a developed support tool. With the *survey*, the adherence of the SMIPP process to the ten principles of good business process management was verified. The results obtained in the simulation hypothesis tests were positive, as the null hypothesis of the indices was rejected in many cases. The results in the *survey* showed that participants would use the process in their company, as it helps in the integration of the company's different departments, engages the asset manager with other decision makers, among other aspects evaluated.

Keywords: Prioritization. Multi-criteria analysis to support decision making. Artificial intelligence. Asset Management. Maintenance activities.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Resumo do escopo desta tese	26
Figura 2 – Classificação dos tipos de ativos para a PAS-55	35
Figura 3 – Resumo das estruturas das ISO-55000, ISO-55001 e ISO-55002	37
Figura 4 – Relações entre os principais termos da ISO-55000	37
Figura 5 – Estrutura do Sistema de Gestão de Ativos PAS 55	40
Figura 6 – Decomposição de um problema em árvore hierárquica	46
Figura 7 – Tecnologias de Inteligência Artificial	49
Figura 8 – <i>Framework</i> GAMOF	54
Figura 9 – <i>Framework</i> TPMPF	59
Figura 10 – <i>Framework</i> SMPF	64
Figura 11 – Análise comparativa dos Multiple Criteria Decision Making (MCDM)	67
Figura 12 – Exemplo de escavadeira utilizada no estudo de caso	68
Figura 13 – Análise comparativa dos MCDM do estudo de caso	71
Figura 14 – Resumo da RSL	74
Figura 15 – Ocorrência dos métodos MCDM	86
Figura 16 – Ocorrência das tecnologias de inteligência artificial	89
Figura 17 – Ocorrência das categoria de infraestrutura	92
Figura 18 – Ocorrência das categorias de infraestrutura	94
Figura 19 – Ocorrência das áreas de competência técnica da gestão de ativos	97
Figura 20 – Ocorrência dos tipo de contribuição	100
Figura 21 – Gráfico bolha das dimensões Tipo de contribuição e Método empírico	110
Figura 22 – Visão geral do processo	119
Figura 23 – Critérios para o problema de seleção da estratégia de manutenção	121
Figura 24 – Classificação de sistemas multiunidades	128
Figura 25 – Comparação do número de citações FAHP	134
Figura 26 – Estrutura do processo	138
Figura 27 – Etapa 1 do processo SMIPP	140
Figura 28 – Etapa 1: Identificar ativos, sistemas e componentes de interesse	141
Figura 29 – Exemplo de delimitação da fronteira de um sistema	143
Figura 30 – Etapa 2 do processo SMIPP	143
Figura 31 – Etapa 2: Coletar e gerenciar os dados dos sistemas e componentes dos ativos	144
Figura 32 – Etapa 3 do processo SMIPP	146
Figura 33 – Etapa 3: Estabelecer decisões estratégicas	147
Figura 34 – Etapa 4 do processo SMIPP	149
Figura 35 – Etapa 4: Analisar dependência econômica	150

Figura 36 – Etapa 4: Analisar a dependência econômica das atividades de manutenção individualmente	152
Figura 37 – Exemplo do planejamento de um sistema	155
Figura 38 – Exemplo de codificação de uma estrutura de agrupamento	156
Figura 39 – Etapa 4: Analisar a dependência econômica das atividades de manutenção agrupadas	157
Figura 40 – Etapa 5 do processo SMIPP	162
Figura 41 – Etapa 5: Calcular os custos das dimensões de decisão	163
Figura 42 – Etapa 5: Calcular custo da dimensão Produção	164
Figura 43 – Etapa 5: Dimensão Risco antes da manutenção	166
Figura 44 – Etapa 5: Dimensão Risco depois da manutenção	168
Figura 45 – Etapa 6 do processo SMIPP	171
Figura 46 – Etapa 6: Calcular os índices	172
Figura 47 – Etapa 7 do processo SMIPP	174
Figura 48 – Etapa 7: Executar a priorização e ordenar os resultados	175
Figura 49 – Etapa 7: Gerar matriz com poucas alternativas e calcular o peso fuzzy	176
Figura 50 – Etapa 7: Verificar a consistência da matriz	179
Figura 51 – Etapa 7: Calcular o peso <i>fuzzy</i> de acordo com a média geométrica	181
Figura 52 – Etapa 7: Calcular o peso <i>fuzzy</i> de acordo com a medida sintética	183
Figura 53 – Etapa 7: Verificar as matrizes de alternativas e calcular o peso fuzzy	185
Figura 54 – Etapa 7: Gerar matriz com muitas alternativas e calcular o peso fuzzy	187
Figura 55 – Etapa 7: Consolidar o resultado da priorização	189
Figura 56 – Etapa 8 do processo SMIPP	190
Figura 57 – Etapa 8: Verificar os resultados	191
Figura 58 – Árvore funcional de uma caldeira de biomassa	197
Figura 59 – Principais sistemas de uma caldeira de biomassa	198
Figura 60 – Média do método <i>Elbow</i> da simulação I	214
Figura 61 – Média do índice de Calinski-Harabasz da simulação I	214
Figura 62 – Média do coeficiente de Silhueta da simulação I	215
Figura 63 – Média do índice de Davies-Bouldin da simulação I	215
Figura 64 – Média do índice de S_Dbw da simulação I	216
Figura 65 – Ranking das alternativas da simulação I com o <i>framework</i> Shutdown Maintenance Prioritisation Framework (SMPF)	226
Figura 66 – Média do método <i>Elbow</i> da simulação II	232
Figura 67 – Média do índice de Calinski-Harabasz da simulação II	233
Figura 68 – Média do coeficiente de Silhueta da simulação II	233
Figura 69 – Média do índice de Davies-Bouldin da simulação II	234
Figura 70 – Média do índice de S_Dbw da simulação II	234
Figura 71 – Ranking das alternativas da simulação II com o <i>framework</i> SMPF	245

Figura 72 – Média do método <i>Elbow</i> da simulação III	248
Figura 73 – Média do índice de Calinski-Harabasz da simulação III	248
Figura 74 – Média do coeficiente de Silhueta da simulação III	249
Figura 75 – Média do índice de Davies-Bouldin da simulação III	249
Figura 76 – Média do índice de S_Dbw da simulação III	250
Figura 77 – Quantidade e localização geográfica dos participantes (versão em português)	270
Figura 78 – Quantidade e localização geográfica dos participantes (versão em inglês)	271
Figura 79 – Qual o seu nível acadêmico?	272
Figura 80 – Qual o tipo de experiência que você tem com gestão de manutenção? .	273
Figura 81 – Há quanto tempo você atua na área de gestão de manutenção?	273
Figura 82 – Eu acho que eu teria dificuldade em customizar este processo para o contexto da minha organização.	274
Figura 83 – Eu acho que o processo torna-se flexível pelo fato dele ser interativo e incremental.	276
Figura 84 – Eu acho que o processo atrapalha as minhas tarefas diárias do trabalho.	277
Figura 85 – Eu acho que o processo prejudica o desenvolvimento das competências pessoais do gestor de ativos.	278
Figura 86 – Eu acho que o processo ajuda na integração dos diferentes departamentos da minha empresa.	279
Figura 87 – Eu utilizaria o processo na minha empresa.	280
Figura 88 – Eu acho que o processo engaja o gestor de ativos com os outros tomadores de decisão da empresa.	281
Figura 89 – Eu acho que a aplicação das tecnologias de inteligência artificial, no planejamento e execução da priorização de grupos de atividades de manutenção de sistemas multiativos homogêneos, ajuda a identificar agrupamentos capazes de maximizar o retorno do investimento em paradas de manutenção com restrições de tempo e orçamento.	282
Figura 90 – Eu acho que o processo é complexo.	283
Figura 91 – Eu acho que o processo forneceu resultados fáceis de entender.	284
Figura 92 – Eu acho que a ordem das etapas do processo está correta.	285
Figura 93 – Eu tive dificuldade em compreender os artefatos de entrada e saída do processo.	286
Figura 94 – Eu acho que processo SMIPP ajuda na identificação dos agrupamentos de atividades de manutenção, de sistemas multiativos homogêneos, que amplificam o retorno do investimento em paradas de manutenção com restrições de tempo e orçamento.	287
Figura 95 – Eu acho que a quantidade de etapas do processo poderia ser reduzida. .	288
Figura 96 – Eu acho que a quantidade de etapas manuais do processo é exagerada.	289

Figura 97 – Eu acho que as etapas automáticas tornam o processo mais simples. . .	290
Figura 98 – Eu acho que algumas etapas obrigatórias poderiam ser opcionais. . .	291
Figura 99 – Vídeo do <i>survey</i>	364
Figura 100 – Tela de cadastro do usuário	385
Figura 101 – Tela de login	386
Figura 102 – Tela inicial	386
Figura 103 – Tela de consulta de ativo - Parte I	387
Figura 104 – Tela de consulta de ativo - Parte II	387
Figura 105 – Tela de detalhes do ativo	388
Figura 106 – Tela de cadastro de ativo	389
Figura 107 – Tela de cadastro de componente	390
Figura 108 – Tela de edição de ativo	390
Figura 109 – Tela de exclusão de ativo	391
Figura 110 – Tela de consulta das atividades de manutenção	392
Figura 111 – Tela de detalhamento das atividades de manutenção	392
Figura 112 – Tela de consulta dos dados estratégicos	393
Figura 113 – Tela de detalhamento dos dados estratégicos	393
Figura 114 – Tela de cadastro dos dados estratégicos	394
Figura 115 – Tela de consulta dos cenários de manutenção	394
Figura 116 – Tela de detalhamento dos cenários de manutenção	395
Figura 117 – Tela de cadastro dos cenários de manutenção	395
Figura 118 – Tela de cadastro dos efeitos	396
Figura 119 – Tela de preenchimento da matriz de critérios	396
Figura 120 – Tela de preenchimento da matriz de critérios editável	397
Figura 121 – Tabela de valores possíveis da matriz	397
Figura 122 – Tela de erro de valores inválidos na matriz de critérios	398
Figura 123 – Tela de erro de valores numéricos na matriz de critérios	398
Figura 124 – Tela de seleção do grupo	399
Figura 125 – Tela de preenchimento da matriz de alternativas	400
Figura 126 – Tela de resultados da priorização - Parte I	400
Figura 127 – Tela de resultados da priorização - Parte II	401
Figura 128 – Tela de consulta das priorizações anteriores	401
Figura 129 – Tela do manual do usuário	402
Figura 130 – Tela de Sobre	402

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Sumário dos procedimentos metodológicos	27
Tabela 2 – Tipos de ativos	33
Tabela 3 – Fundamentos da Gestão de Ativos	38
Tabela 4 – Principais Benefícios da Gestão de Ativos	39
Tabela 5 – Resumo das áreas de competência da gestão de ativos	41
Tabela 6 – Resumo das categorias dos métodos MCDM	44
Tabela 7 – Escala fundamental	47
Tabela 8 – Categorias do Domínio do Problema de IA	49
Tabela 9 – Categorias do Paradigma da IA	50
Tabela 10 – Resumo de algumas das tecnologias de IA muito citadas na literatura .	51
Tabela 11 – Tabela com o resumo da análise dos casos 1, 2, 3, 4 e 5	57
Tabela 12 – Ranqueamento dos pacotes de manutenção	62
Tabela 13 – Fórmulas do passo 4 do <i>framework</i> SMPF	65
Tabela 14 – Fórmulas do passo 5 do <i>framework</i> SMPF	66
Tabela 15 – Cenários do estudo de caso	68
Tabela 16 – Aplicação do passo 4 no estudo de caso	69
Tabela 17 – Cenários do estudo de caso	69
Tabela 18 – Índices do estudo de caso no cenário pessimista	70
Tabela 19 – Peso atribuído a cada índice	70
Tabela 20 – Questões de Pesquisa	75
Tabela 21 – Bibliotecas digitais	77
Tabela 22 – <i>String</i> de busca no idioma inglês	79
Tabela 23 – <i>String</i> de busca no idioma português	79
Tabela 24 – Questões dos critérios de qualidade	81
Tabela 25 – Quantidade de estudos que especificam o método MCDM utilizado . .	85
Tabela 26 – Distribuição dos estudos de acordo com o(s) método(s) MCDM	87
Tabela 27 – Distribuição dos estudos de acordo com as tecnologias de IA	89
Tabela 28 – Distribuição dos estudos por tipo de categoria	93
Tabela 29 – Distribuição dos estudos por subcategoria	94
Tabela 30 – Distribuição dos estudos por área de competência da gestão de ativos .	98
Tabela 31 – Distribuição dos estudos por tipo de contribuição	100
Tabela 32 – Distribuição dos estudos por ferramenta	102
Tabela 33 – Distribuição dos estudos por ferramenta e método MCDM	103
Tabela 34 – Distribuição dos estudos que especificam as etapas das contribuições .	105
Tabela 35 – Distribuição dos estudos por método empírico	109
Tabela 36 – Quantidade de estudos que tiveram apoio de alguma organização . . .	112

Tabela 37 – Organizações que apoiaram as contribuições produzidas pelos estudos .	112
Tabela 38 – Distribuição dos estudos por organização e tipo de apoio	115
Tabela 39 – Escala <i>Saaty</i> x Escala <i>Fuzzy</i>	135
Tabela 40 – Descrição do exemplo de uma estrutura de agrupamento	155
Tabela 41 – Termos linguísticos utilizados na priorização	177
Tabela 42 – Termos linguísticos x Escala Saaty	177
Tabela 43 – Tabela padrão do índice randômico	180
Tabela 44 – Descrição dos identificadores dos componentes	195
Tabela 45 – Descrição dos atributos da base de dados	198
Tabela 46 – Distribuição dos dados na base de dados	200
Tabela 47 – Valores utilizados nos custos, parâmetros e dados estratégicos	201
Tabela 48 – Métricas utilizadas nas simulações	202
Tabela 49 – Descrição dos valores do coeficiente de silhueta	203
Tabela 50 – Hiperparâmetros do algoritmo de otimização	204
Tabela 51 – Atividades de manutenção da simulação I	209
Tabela 52 – Métricas calculadas na simulação I	213
Tabela 53 – Valores dos custos individuais menos $x\%$ e média dos <i>best fitness</i> da simulação I	217
Tabela 54 – Média dos custos das dimensões na simulação I com o processo SMIPP	218
Tabela 55 – Média dos índices gerados na simulação I com o processo SMIPP . . .	219
Tabela 56 – Matriz de critérios da simulação I	220
Tabela 57 – Matriz de critérios fuzzificada da simulação I	221
Tabela 58 – Matriz de alternativas da simulação I	221
Tabela 59 – Matriz de alternativas fuzzificada da simulação I	222
Tabela 60 – Valores de consistência da matriz de critérios e alternativas da simula- ção I	222
Tabela 61 – Pesos da matriz de critérios e alternativas da simulação I	223
Tabela 62 – Ranking das alternativas da simulação I com o processo SMIPP	223
Tabela 63 – Valores utilizados nos limites do método ELECTRE	226
Tabela 64 – Ranking das alternativas da simulação I com o <i>framework</i> SMPF . . .	227
Tabela 65 – Atividades de manutenção da simulação II	228
Tabela 66 – Métricas obtidas na simulação II	231
Tabela 67 – Valores dos custos individuais menos $x\%$ e média dos <i>best fitness</i> da simulação II	235
Tabela 68 – Média dos custos das dimensões na simulação II com o processo SMIPP	236
Tabela 69 – Média dos índices gerados na simulação II com o processo SMIPP . . .	237
Tabela 70 – Matriz de critérios da simulação II	239
Tabela 71 – Matriz de critérios fuzzificada da simulação II	240
Tabela 72 – Matriz de alternativas da simulação II	240

Tabela 73 – Matriz de alternativas fuzzificada da simulação II	240
Tabela 74 – Valores de consistência da matriz de critérios e alternativas da simulação II	241
Tabela 75 – Pesos da matriz de critérios e alternativas da simulação II	241
Tabela 76 – Ranking das alternativas da simulação II com o processo SMIPP . . .	242
Tabela 77 – Ranking das alternativas da simulação II com o <i>framework</i> SMPF . . .	245
Tabela 78 – Métricas obtidas na simulação III	247
Tabela 79 – Valores dos custos individuais menos x% e média dos <i>best fitness</i> da simulação III	251
Tabela 80 – Custos das dimensões na simulação III com o processo SMIPP	251
Tabela 81 – Índices gerados na simulação III com o processo SMIPP	253
Tabela 82 – Matriz de critérios da simulação III	254
Tabela 83 – Matriz de critérios fuzzificada da simulação III	255
Tabela 84 – Matriz de alternativas da simulação III	255
Tabela 85 – Matriz de alternativas fuzzificada da simulação III	256
Tabela 86 – Valores de consistência da matriz de critérios e alternativas da simulação III	256
Tabela 87 – Pesos da matriz de critérios e alternativas da simulação III	256
Tabela 88 – Ranking das alternativas da simulação III com o processo SMIPP . . .	257
Tabela 89 – Resultado dos testes de hipótese	259
Tabela 90 – Princípios e suas descrições	264
Tabela 91 – Categoria x Tipo das Perguntas	266
Tabela 92 – Princípios x Afirmações do <i>Survey</i>	267
Tabela 93 – Justificativas da afirmação relacionada ao Princípio da Aderência ao Contexto	275
Tabela 94 – Justificativas da afirmação relacionada ao Princípio da Continuidade .	277
Tabela 95 – Justificativas da afirmação relacionada ao Princípio do Entendimento Conjunto	283
Tabela 96 – Justificativas da afirmação relacionada ao Princípio da Simplicidade .	288
Tabela 97 – Justificativas da afirmação aberta	291
Tabela 98 – Características dos trabalhos relacionados	297
Tabela 99 – Fonte de Busca: IEEE Xplore (<i>string</i> en-US)	325
Tabela 100 – Fonte de Busca: IEEE Xplore (<i>string</i> pt-BR)	325
Tabela 101 – Fonte de Busca: ACM (<i>string</i> en-US)	326
Tabela 102 – Fonte de Busca: ACM (<i>string</i> pt-BR)	327
Tabela 103 – Fonte de Busca: Science Direct (<i>string</i> en-US)	328
Tabela 104 – Fonte de Busca: Science Direct (<i>string</i> pt-BR)	328
Tabela 105 – Fonte de Busca: Scopus (<i>string</i> en-US)	329
Tabela 106 – Fonte de Busca: Scopus (<i>string</i> pt-BR)	329

Tabela 107–Fonte de Busca: Engineering Village (<i>string</i> en-US)	330
Tabela 108–Fonte de Busca: Engineering Village (<i>string</i> pt-BR)	330
Tabela 109–Fonte de Busca: Repositório da Capes (<i>string</i> en-US)	331
Tabela 110–Fonte de Busca: Repositório da Capes (<i>string</i> pt-BR)	331
Tabela 111–Quantidade de estudos do Capes	332
Tabela 112–Quantidade e Porcentagem dos Estudos Excluídos x Critérios de Ex- clusão de acordo com os Engenhos de Busca (1 ^a Seleção)	333
Tabela 113–Quantidade e Porcentagem dos Estudos Excluídos x Critérios de Ex- clusão de acordo com os Engenhos de Busca (2 ^a Seleção)	334
Tabela 114–Lista de Estudos Incluídos na RSL	335
Tabela 115–Artefatos do processo SMIPP	338
Tabela 116–Dimensões e índices do <i>framework</i> SMPF na simulação I	344
Tabela 117–Dimensões e índices do <i>framework</i> SMPF na simulação II	358
Tabela 118–Lista dos Grupos de Atividades de Manutenção da Simulação I	370
Tabela 119–Lista dos Grupos de Atividades de Manutenção da Simulação II	373
Tabela 120–Lista dos Grupos de Atividades de Manutenção da Simulação III . . .	377

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABRAMAN Associação Brasileira de Manutenção e Gestão de Ativos.

ACSA Anglo Coal South Africa.

AE Algoritmo Evolutivo.

AG Algoritmo Genético.

AHP Analytic Hierarchy Process.

AM Aprendizagem de Máquina.

ANP Analytic network process.

ANS Aprendizagem de máquina não supervisionado.

AP Aprendizagem Profunda.

BI Índice de orçamento.

BP-ANN Back-propagation Artificial Neural Network.

BPMN Business Process Model and Notation.

CF Algoritmo de Colônia de Formigas.

CRUD Create, Read, Update and Delete.

ELECTRE Elimination and Choice Expressing Reality.

EP Enxame de Partículas.

ETL Extract Transform Load.

FAHP Fuzzy Analytic Hierarchy Process.

GA Gestão Ambiental.

GAMOF Generic Asset Maintenance Optimisation Framework.

GC Gestão de Configuração.

GD Gestão de Dependabilidade.

GM Gestão de Manutenção.

GQ Gestão de Qualidade.

GR Gestão de Risco.

IA Inteligência Artificial.

IAD Inteligência Artificial Distribuída.

IC Índice de Consistência.

IE Inteligência de Enxame.

IoT Internet of Things.

ISO International Organization for Standardization.

KNN K-Nearest Neighbors.

MADM Multiple Attribute Decision Making.

MAUT Multi-attribute utility theory.

MCDA Multiple Criteria Decision Analysis/Aiding.

MCDM Multiple Criteria Decision Making.

MII Índice de investimetno na manutenção.

MTTR Mean Time To Repair.

MVT Model, Template, View.

NSGA-II Non-dominated Sorting Genetic Algorithm II.

PAS-55 Publicly Available Specification 55.

PDCA Plan, Do, Check, Act.

PLN Processamento de Linguagem Natural.

PROMETHEE Preference Ranking Organization Method for Enrichment of Evaluations.

RB Rede Bayesiana.

RBD Reliability Block Diagrams.

RC Razão de Consistência.

RNA Rede Neural Artificial.

RSL Revisão Sistemática da Literatura.

SE Sistema Especialista.

SENAI Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial.

SF Sistema Fuzzy.

SMIPP Shutdown Maintenance Intelligent Prioritisation Process.

SMPF Shutdown Maintenance Prioritisation Framework.

SPEA2 Improving the Strength Pareto Evolutionary Algorithm.

SVM Máquina de Vetores de Suporte.

TBF Time Between Failures.

TI Índice de tempo.

TIC Tecnologia da Informação e Comunicação.

TOPSIS Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution.

TPMPF Tam and Price Maintenance Prioritisation Framework.

VIKOR Multicriteria Optimization and Compromise Solution.

LISTA DE SÍMBOLOS

S^p	Custo da tarefa preparatória preventiva do componente
C_f	Custo fixo da atividade de manutenção
C_v	Custo variável da atividade de manutenção
π_i	Indicador se o componente é crítico
C_{sys}^p	Custo de indisponibilidade planejada do sistema
C_i^p	Custo da atividade de manutenção preventiva do componente i
δ	Delta
θ	Teta
σ	Sigma
μ	Mi

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	23
1.1	MOTIVAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA	23
1.2	OBJETIVO	26
1.3	METODOLOGIA	27
1.4	CONTRIBUIÇÕES DA TESE	30
1.5	ESTRUTURA DA TESE	31
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	33
2.1	ATIVO	33
2.2	GESTÃO DE ATIVOS	35
2.3	ANÁLISE MULTICRITÉRIO DE APOIO À DECISÃO	43
2.4	INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL	48
2.5	TRABALHOS RELACIONADOS	53
2.6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	72
3	REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA	73
3.1	MOTIVAÇÃO DA RSL	73
3.2	METODOLOGIA DA REVISÃO	73
3.3	APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	84
3.4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	116
4	PROCESSO PROPOSTO	119
4.1	VISÃO GERAL DO PROCESSO	119
4.2	AÇÕES NO DESENVOLVIMENTO DO PROCESSO	121
4.3	CATEGORIZAÇÃO DAS ATIVIDADES DO PROCESSO	137
4.4	DETALHAMENTO DO PROCESSO	140
4.5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	192
5	AVALIAÇÃO DO PROCESSO	193
5.1	FORMAS DE AVALIAÇÃO	193
5.2	SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL	194
5.3	<i>SURVEY</i> COM ESPECIALISTAS	264
5.4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	292
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	294
6.1	CONCLUSÕES	294
6.2	CONTRIBUIÇÕES DA TESE	296

6.3	COMPARAÇÃO COM OS TRABALHOS RELACIONADOS	297
6.4	LIMITAÇÕES E AMEAÇAS	300
6.5	TRABALHOS FUTUROS	302
	REFERÊNCIAS	304
	APÊNDICE A – ETAPA 1 - SELEÇÃO PRELIMINAR DA RSL . .	325
	APÊNDICE B – ETAPA 2 - EXCLUÍDOS PRIMEIRA SELEÇÃO .	333
	APÊNDICE C – ETAPA 3 - EXCLUÍDOS SEGUNDA SELEÇÃO .	334
	APÊNDICE D – ETAPA 4 - SELEÇÃO FINAL DA RSL	335
	APÊNDICE E – ARTEFATOS DO PROCESSO SMIPP	338
	APÊNDICE F – DIMENSÕES E ÍNDICES DO <i>FRAMEWORK</i> SMPF NA SIMULAÇÃO I	344
	APÊNDICE G – DIMENSÕES E ÍNDICES DO <i>FRAMEWORK</i> SMPF NA SIMULAÇÃO II	358
	APÊNDICE H – MENSAGEM DE SOLICITAÇÃO PARA PARTI- CIPAÇÃO DO <i>SURVEY</i>(VERSÃO EM PORTU- GUÊS)	360
	APÊNDICE I – MENSAGEM DE SOLICITAÇÃO PARA PARTI- CIPAÇÃO DO <i>SURVEY</i>(VERSÃO EM INGLÊS) .	361
	APÊNDICE J – PERGUNTAS DO <i>SURVEY</i> (VERSÃO EM POR- TUGUÊS)	362
	APÊNDICE K – LISTA DOS GRUPOS DE ATIVIDADES DE MA- NUTENÇÃO	370
	APÊNDICE L – FERRAMENTA DE APOIO	385

1 INTRODUÇÃO

Este capítulo expõe uma visão geral da tese, contemplando: motivação para a pesquisa e caracterização do problema, definição dos objetivos da pesquisa, descrição da metodologia, estratégias adotadas, procedimentos utilizados na pesquisa, contribuições e, apresentação da estrutura desta tese.

1.1 MOTIVAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

A área de gestão de ativos vem ganhando cada vez mais destaque mundial devido às suas diversas atividades coordenadas que envolvem gestores e ativos, produzindo benefícios para as instituições (SOARES; SANTOS, 2017). Devido a isso, o conceito de manutenção de ativos evoluiu, pois não se trata mais de somente reparar o que quebrou (manutenção corretiva). Tornou-se uma forma de diagnosticar com antecedência o estado de falha de um ativo (manutenção preventiva). Inclusive, em algumas situações, com auxílio de equipamentos capazes de monitorar as propriedades do ativo, tais como, temperatura, pressão e vibração (manutenção preditiva). Dessa forma, ao longo dos anos, a manutenção de ativos foi ganhando notoriedade e transformando-se em uma atividade essencial dentro do processo de gestão de ativos de uma organização (TAVARES; GOMES, 2015).

Nesse contexto, o que se pode ser entendido por ativo? De acordo com a norma técnica ISO-55000 (2014), trata-se de algo com valor agregado para uma organização, por exemplo, ações, patentes, máquinas industriais, móveis, veículos, materiais de escritório, produtos, entre outros. A International Organization for Standardization (ISO) afirma que é difícil padronizar o valor agregado de um ativo porque ele muda de acordo com o contexto da organização e os interesses dos *stakeholders*.

Existem diversos tipos de ativos, como por exemplo, intangível, financeiro, humano e físico (HASTINGS; HASTINGS, 2021). O ativo físico é chamado de tangível ou concreto e são representados por itens como equipamentos de comunicação, máquinas, veículos, aeronaves, tubulações, entre outros (HASTINGS; HASTINGS, 2021). Inclusive, de acordo com Petchrompo e Parlikad (2019), esse tipo de ativo pode ser encontrado em sistemas multiativos homogêneos ou heterogêneos. Nos sistemas multiativos homogêneos os ativos são, geralmente, idênticos ou com características técnicas similares, que operam na mesma localização e compartilham as mesmas atividades de manutenção (ex: tanque de água bruta, tanque de água clorada, tanque misturado, etc). Nos sistemas multiativos heterogêneos, os ativos têm características diversas, com diferentes atividades de manutenção e que operam sob condições distintas (ex: pontes, túneis e pontes pedonais).

Os desafios associados à manutenção de ativos físicos, vão muito além de consertos e substituições, sendo fundamental considerar o alinhamento entre a política de manutenção

e os objetivos estratégicos da corporação (EHALAIYE; REDMAYNE; LASWAD, 2021). Faz-se necessário que a manutenção de ativos físicos seja organizada e planejada para preservar os ativos, prolongar sua vida útil, prever possíveis falhas operacionais, controlar seu ciclo de vida e estimar seus custos (SILVA; MELO, 2017a).

Assim, segundo Chong et al. (2019) as empresas perceberam que é preciso tomar decisões mais direcionadas aos interesses da organização Chong et al. (2019), principalmente, durante paradas de manutenção. Isso porque se trata de momentos em que o ativo precisa está temporariamente inoperante (desligado ou inativo) para que as atividades de manutenção possam ser realizadas (CHONG et al., 2019).

Diante desse contexto, segundo Iheukwumere-Esotu (2022), apesar da importância do tema, faltam abordagens que forneçam suporte a tomada de decisão, facilitando o planejamento e a execução da manutenção de ativos físicos. Segundo Chong et al. (2018), está cada vez mais crescente a demanda por realizar priorização de atividades de manutenção que gerem benefícios para as organizações. Os autores complementam dizendo que priorizar atividades de manutenção é uma ação imprescindível pois, infelizmente, é comum que o orçamento não consiga abranger todas as atividades de manutenção. Au-Yong et al. (2019) ainda diz que, quando existem situações de manutenção que envolvem restrições temporais e orçamentárias de forma crítica, o planejamento apropriado da priorização é um fator essencial para garantir o sucesso da mesma. Ainda, Tam e Price (2008b) já diziam que a priorização das atividades de manutenção era fundamental sobretudo, em situações de interrupção planejada (paradas de manutenção), nas quais geralmente, os fatores de tempo e custo são restritos. Apesar da sua relevância, planejar e executar uma priorização não é uma tarefa trivial, pelo contrário, é tão desafiadora quanto importante.

Spitzer (2007) afirmava que era muito comum líderes e gerentes tomarem decisões erradas que prejudicam os negócios. Esse fato geralmente ocorria porque a maioria das decisões que eram e ainda são tomadas se baseiam apenas na intuição, experiências e opiniões individuais do líder ou gestor. Em muitas situações, esses não têm uma visão geral do problema devido à enorme quantidade de aspectos, objetivos ou interesses envolvidos. Swart (2015) dizia que equilibrar múltiplos objetivos e interesses é uma tarefa complexa inclusive, porque é comum esses não estarem em concordância. Chong et al. (2018) diziam que uma priorização incorreta pode gerar efeitos de caráter prático muito severos, tais como, anomalias e estouros no orçamento, custos extras não previstos devido a geração de falhas por falta de manutenção. Para evitar isso, os autores afirmavam ser preciso que o tomador de decisão possuísse uma visão abrangente à respeito do negócio da empresa, bem como os diversos aspectos que levam ao sucesso da priorização. Au-Yong et al. (2019) afirmavam que as abordagens existentes para priorização no contexto da manutenção de ativos eram ineficientes, pois dependiam do julgamento do gestor de ativos, levando à grande subjetividade e à erros na alocação dos recursos. Cinelli et al. (2020) afirmavam que a priorização era dificultosa devido a vários fatores externos existentes, limitações dos

mais variados tipos, possibilidade de diversas alternativas e diferentes pontos de vista dos *stakeholders*.

A revisão da literatura feita por Chong et al. (2019) mostrou que de 1990 a 2016, 28 métodos foram usados para priorização das atividades de manutenção e mais de 24 critérios foram reconhecidos. Porém, não foram encontradas menções sobre como alinhar as políticas de manutenção dos ativos com as estratégias de negócio das organizações, através do planejamento e execução da priorização de atividades de manutenção, em parada de manutenção com restrição de tempo e orçamento.

Para confirmar e aprofundar a problemática, uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL) foi realizada nesta pesquisa juntamente com *snowballing*. Optou-se por fazer *snowballing* pelo fato dos trabalhos identificados na RSL não trazerem abordagens que detalhassem as etapas da priorização inteligente na gestão de ativos, ou seja, os trabalhos apenas descreviam superficialmente como aplicar tecnologias de IA (ex: redes neurais, algoritmos bioinspirados, clusterização) para auxiliar na priorização quando esta estava sendo empregada no contexto da gestão de ativos.

Assim, durante o *snowballing* procurou-se identificar em outras referências de artigos relacionados a esta pesquisa. Dessa forma, através do *snowballing*, foi encontrado o trabalho relacionado de Swart (2015), que apresenta o *framework* SMPF e possui como objetivo aumentar o retorno do investimento. Mas, ao analisar, minuciosamente, cada passo que constitui o *framework* de Swart (2015), as seguintes lacunas foram identificadas, 1) agrupar as atividades de manutenção sem considerar o volume de dados coletados, os padrões embutido nos dados e as propriedades disponíveis, 2) ignorar a análise da dependência econômica, 3) impossibilitar a aplicação do método MCDM Analytic Hierarchy Process (AHP) devido 3.1) ao problema do *ranking* reverso e, 3.2) a incerteza e subjetividade na comparação em pares, 4) priorizar apenas um ativo e, 5) desconsiderar repriorização. Essas lacunas são demasiadamente graves pois, em decorrência delas aspectos imprescindíveis estão sendo negligenciados inclusive, influenciando na priorização das atividades de manutenção e gerando dúvidas sobre a confiabilidade e integridade da mesma. Acredita-se que a aplicação de tecnologias de IA juntamente com métodos MCDM ajudará a suprir as lacunas supracitadas.

Portanto, ainda que a literatura apresente estudos sobre a priorização das atividades de manutenção, existem lacunas severas que inviabilizam a identificação de quais agrupamentos de atividades de manutenção, de sistemas multiativos homogêneos, amplificam o retorno do investimento em paradas de manutenção com restrições de tempo e orçamento.

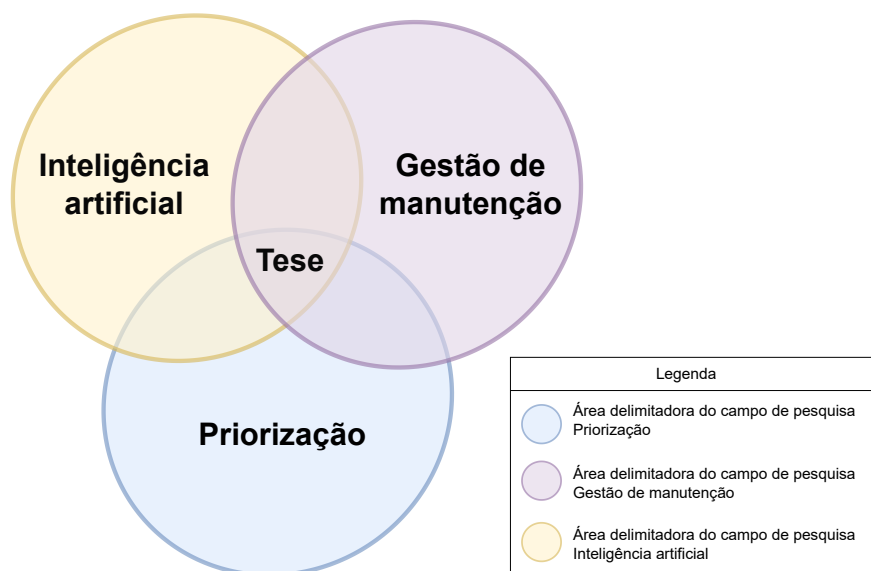
Diante desse contexto o problema de pesquisa abordado nesse trabalho consiste em investigar mecanismos que auxiliem a identificação de quais agrupamentos de atividades de manutenção, de sistemas multiativos homogêneos, amplificam o retorno do investimento, em paradas de manutenção que possuem restrições de tempo e orçamento. Dessa forma, tem-se a seguinte questão de pesquisa: "Existem meios de auxiliar a identificação de quais

agrupamentos de atividades de manutenção, de sistemas multiativos homogêneos, amplifiquem o retorno do investimento, em paradas de manutenção que possuem restrições de tempo e orçamento?"

Assim, esta tese tem como hipótese que o uso de um processo iterativo e incremental que aplica tecnologias de IA, no planejamento e execução da priorização de grupos de atividades de manutenção, ajuda a identificar agrupamentos capazes de maximizar o retorno do investimento em paradas de manutenção com restrições de tempo e orçamento em sistemas multiativos homogêneos.

Conforme pode ser visualizado no diagrama de Venn da Figura 1, o ponto central desta tese está na interseção de três campos de pesquisa, são eles, priorização, IA e gestão de manutenção.

Figura 1 – Resumo do escopo desta tese



Fonte: A autora

1.2 OBJETIVO

Esta tese tem como objetivo principal ajudar na identificação dos agrupamentos de atividades de manutenção, de sistemas multiativos homogêneos, que amplifiquem o retorno do investimento em paradas de manutenção com restrições de tempo e orçamento. Para isso é proposto um processo iterativo e incremental que aplica tecnologias de IA no planejamento e execução da priorização de grupos de atividades de manutenção. Para alcançar o objetivo principal do trabalho, os seguintes objetivos específicos foram estabelecidos:

- **(ObjEsp1):** Identificar o estado da arte e as lacunas existente na interseção entre as áreas de priorização, IA e gestão de manutenção, por meio de pesquisas bibliográficas e uma RSL;
- **(ObjEsp2):** Definir um processo iterativo e incremental que aplique tecnologias de IA no planejamento e execução da priorização de grupos de atividades de manutenção;
- **(ObjEsp3):** Escolher quais as tecnologias de IA e implementações serão utilizadas no processo proposto;
- **(ObjEsp4):** Desenvolver uma ferramenta de apoio para facilitar a utilização e avaliação do processo proposto;
- **(ObjEsp5):** Avaliar o processo proposto através de uma simulação com uma base de dados de um estudo de caso e, também, por meio de um *survey* com especialistas da área de gestão de manutenção;
- **(ObjEsp6):** Finalizar com a análise dos resultados obtidos na simulação e no *survey*.

1.3 METODOLOGIA

Segundo Severino (2017) no momento que o estudo trata os eventos por meio de recursos técnicos através de um método que se baseia nos princípios epistemológicos ocorre ciência. O autor acrescenta que a ciência usa um método do tipo científico a fim de diferenciar o que é um processo de conhecimento com um grupo de técnicas e mecanismos lógicos, do que é senso comum ou outros tipos de expressões humana.

A fim de atender o objetivo desta tese, utilizou-se como estratégia as técnicas e procedimentos metodológicos sumarizados na Tabela 1. Nos próximos parágrafos, são apresentadas, em detalhes, as classificações da pesquisa realizada.

Tabela 1 – Sumário dos procedimentos metodológicos

Método científico	Hipotético-Dedutivo
Abordagem da pesquisa	Quantitativa e Qualitativa
Natureza da pesquisa	Aplicada
Objetivos da pesquisa	Exploratória
Procedimentos técnicos de pesquisa	Pesquisa bibliográfica, Levantamento (<i>Survey</i> e Revisão Sistemática da Literatura) e Experimento

Fonte: A autora

De acordo com Prodanov e Freitas (2013) uma pesquisa pode ser classificada como hipotético-dedutivo quando se origina por meio de uma ausência na literatura, atravessa

uma hipótese de pesquisa juntamente com um processo de inferência dedutiva, gerando uma expectativa em relação aos acontecimentos dos fatos que a hipótese abrange. Devido a essas características o método hipotético-dedutivo foi usado nesta tese.

Além disso, optou-se em adotar duas abordagens de pesquisa, uma quantitativa e outra qualitativa. A abordagem qualitativa foi aplicada para investigar de forma mais minuciosa o problema de pesquisa, a fim de procurar entendê-lo por meio do desenvolvimento do processo SMIPP que especifica suas etapas e aplica tecnologias de IA no planejamento e execução da priorização de grupos de atividades de manutenção; este foi avaliado em relação aos dez princípios de uma boa gestão de processos de negócios, através de um *survey* com especialistas em gestão de manutenção, no qual a autora desta tese elaborou um vídeo explicativo com a descrição de todo o processo juntamente com a demonstração do uso do processo por meio da ferramenta de apoio desenvolvida pela própria autora desta tese. Por outro lado, a abordagem quantitativa foi empregada na realização da simulação que teve como objetivo avaliar o processo SMIPP em relação a identificação dos agrupamentos de atividades de manutenção, de sistemas multiativos homogêneos, que amplificam o retorno do investimento em paradas de manutenção com restrições de tempo e orçamento. Além disso, a abordagem quantitativa também foi utilizada na análise e interpretação dos resultados da RSL e do *survey* realizado.

Quanto à natureza da pesquisa, esta pode ser classificada como aplicada, pois propõe um processo iterativo e incremental que aplica tecnologias de IA, no planejamento e execução da priorização de grupos de atividades de manutenção, a fim de auxiliar na identificação de agrupamentos capazes de maximizar o retorno do investimento em paradas de manutenção com restrições de tempo e orçamento de sistemas multiativos homogêneos.

Nesta pesquisa, quanto aos objetivos esta pode ser classificada como exploratória, porque tem como finalidade ajudar na identificação dos agrupamentos de atividades de manutenção, de sistemas multiativos homogêneos, que amplificam o retorno do investimento em paradas de manutenção com restrições de tempo e orçamento, tanto através dos levantamentos bibliográficos e RSL, como dos resultados da simulação e do *survey* aplicados.

O procedimento técnico de pesquisa empregou pesquisa bibliográfica, levantamento e experimento. Essa abordagem foi formulada a partir de estudos já publicados em congressos, simpósios, *workshops*, *journals*, periódicos, livros sendo constituído, principalmente, de artigos científicos, dissertações e teses. Esse procedimento teve como principal finalidade ampliar o conhecimento, da autora desta tese, em relação ao estado da arte do tema da pesquisa. Com intuito de validar a proposta, foram feitos experimentos através de simulações com a ferramenta de apoio e questionários com especialistas em gestão de manutenção. As simulações foram realizadas em um ambiente controlado através da utilização de uma base de dados com informações um estudo de caso, de Correia (2017), realizado em uma indústria papelreira. Por outro lado, os *survey* ocorreram com espe-

cialistas da gestão de manutenção, a fim de capturar o *feedback* deles sobre as tarefas, atores, tipo do tarefa (manual ou automática), tipo de indispensabilidade (obrigatória ou opcional) e tipo de fase na priorização (planejamento ou execução) do processo proposto.

Estratégias Adotadas

Primeiramente, buscou-se fazer um diagnóstico do estado da arte para construir uma base de conhecimento sobre como a priorização inteligente é aplicada na área de gestão de ativos. Essa busca ocorreu através de pesquisas bibliográficas e do desenvolvimento de uma RSL. A partir disso, foram identificados vários aspectos relevantes sobre esse assunto, tais como, tipos de MCDM usados, tecnologias de IA, tipos de contribuições, entre outros. Inclusive, a partir da identificação das áreas de competência técnica da gestão de ativos, o escopo desta pesquisa foi restringido para gestão de manutenção. A RSL também ajudou a apontar a atual carência de abordagens que suportem o alinhamento das políticas de manutenção dos ativos com as estratégias de negócio das organizações, através do planejamento e execução da priorização de atividades de manutenção.

Alguns estudos referentes a aplicação da priorização inteligente na área de gestão de ativos foram pesquisados e, os trabalhos Swart (2015), Tam e Price (2008a) e Tam e Price (2008b) foram identificados, analisados e esmiuçados em mais detalhes, devido a focarem na maximização do retorno do investimento através da priorização de grupos de atividades de manutenção. Mais uma vez, a RSL teve um papel importante auxiliando no reconhecimento e seleção dessas abordagens pois, as mesmas foram encontradas no *snowballing* da RSL.

Assim, constatou-se que, dos diversos estudos examinados tanto na RSL desenvolvida nesta pesquisa quanto na revisão da literatura feita por Chong et al. (2019), os trabalhos de Swart (2015), Tam e Price (2008a) e Tam e Price (2008b) são os mais afins com este trabalho pois, já possuíam alguns aspectos semelhantes com o problema analisado nesta pesquisa, principalmente o *framework* de Swart (2015). Por isso, decidiu-se utilizar este estudo como alicerce para elaboração e construção do processo SMIPP.

Foram utilizadas, as tecnologias de IA, clusterização, algoritmo de otimização e lógica *fuzzy*, no planejamento e execução da priorização, para agrupar as atividades de manutenção, analisar a dependência econômica e auxiliar no problema do *ranking* reverso e da incerteza e subjetividade na comparação em pares, respectivamente. Em relação as implementações optou-se por *k-means* na clusterização, Algoritmo Genético (AG) no algoritmo de otimização e Fuzzy Analytic Hierarchy Process (FAHP) *Geometric Mean Method* e *Fuzzy Extent Analysis* na lógica *fuzzy*. Essas implementações foram escolhidas pelo fato delas serem bastante consolidadas e amplamente utilizadas na literatura (JAIN, 2010), (PEREIRA et al., 2020a), (PEREIRA et al., 2020b) e (VASCONCELOS et al., 2020) e (AHMED; KILIC, 2019), possuírem diversas extensões (PELLEG; MOORE, 1999), (PELLEG; MOORE et al., 2000) e (KAUFMAN; ROUSSEUW, 2009) e, disporem de bibliotecas na linguagem

Python com suporte de diversos desenvolvedores da comunidade (PEDREGOSA et al., 2011) e (GAD, 2021).

Acerca da avaliação, foram realizadas simulações utilizando a base de dados adaptada de um estudo de caso de uma indústria papelreira. O estudo de caso utilizado foi originário do trabalho de Correia (2017). A adaptação ocorreu no volume de informações e, em alguns dados técnicos que a base original não fornecia então, para suprir essa ausência, algumas informações precisaram ser conjecturadas. Foram realizadas três simulações diferentes, a primeira com os componentes do sistema balão de uma caldeira industrial, segunda com os componentes do sistema transporte de cavaco também de uma caldeira industrial e, por fim a terceira, com os componentes dos sistemas balão e transporte de cavaco novamente de uma caldeira industrial. Além das simulações também foram feitos questionários com especialistas de diferentes perfis, grau acadêmico e níveis de experiência. Pelo fato do *survey* ter sido realizado após a proposição do processo SMIPP, foi possível a sua validação e verificação, proporcionando aos especialistas trazerem contribuições valiosas para a pesquisa.

1.4 CONTRIBUIÇÕES DA TESE

As principais contribuições desta tese estão relacionadas aos resultados obtidos por meio das reuniões realizadas com especialistas em gestão de ativos, do desenvolvimento da RSL, da proposta do processo SMIPP e da ferramenta de apoio. As reuniões que ocorreram com especialistas em gestão de ativos foram espaçadas durante o período de aproximadamente dois anos. Esses foram momentos para entendimento das atividades, necessidades e dificuldades que os especialistas viviam na prática com a gestão de ativos.

A RSL desenvolvida nesta pesquisa aborda três grandes áreas, priorização, IA e gestão de ativos. Ela mostrou que uma pequena quantidade de métodos MCDM (apenas quatro) são utilizados e suportados de forma inteligente dentro da área de gestão de ativos. Além disso, somente nove estudos (10,98%) identificados especificam de forma mais minuciosa as etapas das suas contribuições. Isso faz com que se torne mais complexo o entendimento e a reprodução do procedimento que foi adotado para obtenção dos resultados, bem como da ordenação e sistematização das tarefas envolvidas. Além disso, a RSL apresentou uma lacuna de abordagens para apoiar o alinhamento das políticas de manutenção dos ativos com as estratégias de negócio das organizações através do planejamento e execução da priorização de atividades de manutenção.

Já o processo SMIPP fornece ao tomador de decisão o reconhecimento de grupos de atividades de manutenção, de sistemas multiativos homogêneos, que maximizam o retorno do investimento em paradas de manutenção com limitações temporais e orçamentárias. Este processo é iterativo, incremental e usa tecnologias de IA no planejamento e execução da priorização. Em relação à sua estrutura, o processo proposto contempla oito etapas das quais, seis são obrigatórias e de planejamento da priorização, uma é obrigatória e

de execução da priorização e uma é opcional e de execução da priorização. Além disso, das sete etapas obrigatórias apenas três são manuais, as quais precisam ser executadas pelo tomador de decisão, as outras quatro etapas obrigatórias são automáticas portanto, executadas pelo sistema.

E por fim, também foi desenvolvida uma ferramenta de apoio para facilitar utilização e avaliação do processo proposto. Essa ferramenta é um sistema web que foi construído na linguagem Python, com uma interface gráfica feita no *framework* Django, na arquitetura *Model, Template, View (MVT)*. Ela possui cinco menus, Ativo, Atividade de manutenção, Decisões estratégicas, Priorização e Ajuda. Ao clicar em cada menu, um submenu é expandido exibindo as várias funcionalidades disponíveis, dentre elas, Cadastro de usuário, *Create, Read, Update and Delete (CRUD)* e detalhes do Ativo, Cadastro de componentes, Consulta de atividades de manutenção, CRUD e Detalhes dados estratégicos. Além de também possuir uma documentação no menu Ajuda.

1.5 ESTRUTURA DA TESE

Além deste capítulo introdutório, esta tese está estruturada em mais capítulos, conforme descrito a seguir.

O Capítulo 2, Fundamentação Teórica, apresenta uma visão geral sobre as diferentes áreas que transpassam esta pesquisa, são elas, priorização, IA e gestão de ativos. Além de fazer uma explanação sobre trabalhos similares que abordam a priorização na gestão de manutenção, observando as características de cada um deles e, analisando as diferenças entre eles.

O Capítulo 3, Revisão Sistemática da Literatura, detalha as informações reunidas à respeito dos estudos publicados sobre como a priorização inteligente é aplicada na área de gestão de ativos. Além disso, também apresenta informações como, os anos de publicação dos estudos, o local de desenvolvimento dos estudos, o contexto de aplicação da pesquisa, bem como a distribuição dos estudos por fonte de publicação. Também apresenta detalhadamente o protocolo utilizado para conduzir a RSL além de, mostrar os resultados obtidos para cada uma das dez questões de pesquisa, bem como uma análise e discussão sobre o estado da arte nesse contexto e a conclusão obtida a partir dos resultados extraídos pela RSL.

O Capítulo 4, SMIPP: Processo de Priorização Inteligente em Parada de Manutenção de Ativos Físicos, apresenta uma proposta de um processo iterativo e incremental que aplica tecnologias de IA, no planejamento e execução da priorização de grupos de atividades de manutenção, a fim de ajudar a identificar agrupamentos de atividades de manutenção, de sistemas multiativos homogêneos, capazes de maximizar o retorno do investimento em paradas de manutenção com restrições de tempo e orçamento.

O Capítulo 5, Resultados e Avaliação do Processo SMIPP, apresenta a verificação da aplicação do processo proposto por meio de uma simulação e um *survey* com especialistas

na área de gestão de manutenção.

Por fim, o Capítulo 6, Conclusões e Trabalhos Futuros, apresenta as contribuições desta tese e as conclusões advindas da elaboração do processo SMIPP, comparação com os trabalhos relacionados, aplicação da simulação e do *survey*. São relatadas, também, as limitações encontradas, e são propostos trabalhos futuros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo, são apresentados os principais conceitos e pressupostos das três áreas que englobam essa pesquisa (análise multicritério de apoio à decisão, inteligência artificial e gestão de ativos). Também são abordados diferentes métodos de tomada de decisão multicritério, variadas tecnologias de IA e áreas de competência da gestão de ativos.

Além disso, também são mostrados os trabalhos relacionados a esta pesquisa. Esses se destacam pela utilização de *frameworks* que aplicam a priorização nas atividades de manutenção inclusive, destacando quais critérios e alternativas são utilizadas na priorização. Ademais, um dos trabalhos utiliza os MCDM função de valor aditiva e multiplicativa, Elimination and Choice Expressing Reality (ELECTRE) e Preference Ranking Organization Method for Enrichment of Evaluations (PROMETHEE).

2.1 ATIVO

A norma técnica ISO-55000 (2014) define ativo como todo e qualquer item, coisa ou entidade que representa, para a organização, algum valor concreto ou em potencial, por exemplo, ações, créditos, dinheiro, patentes, maquinário industrial, móveis, veículos, materiais de infraestrutura, estoque, mercadorias, entre outros. Em suma, ativos são importantes recursos que têm o papel de auxiliar no desenvolvimento das atividades realizadas pelas organizações (SILVA; MELO, 2017b).

Além disso existem diferentes tipos de ativos, a Publicly Available Specification 55 (PAS-55) e a BSI (2008) classifica-os em cinco categorias como pode ser visualizado na Tabela 2. Esta Tabela também detalha os tipos de ativos, a descrição de cada tipo de ativo e alguns exemplos de cada tipo de ativo.

Tabela 2 – Tipos de ativos

Tipos de Ativo	Descrição	Exemplo
Físico	São os ativos tangíveis, concretos, palpáveis, aqueles que podem ser tocados, ou seja, que se percebe pelo tato.	equipamentos, maquinário industrial, veículos, materiais de infraestrutura, etc.

Intangível	São os ativos abstratos, que são impalpáveis, aqueles que não podem ser tocados, ou seja, que não se percebe pelo tato.	reputação, imagem, patente, ações, impacto social, marca, entre outros.
Financeiro	São ativos intangíveis que estão direcionados principalmente para contextos que possuem algum tipo de valor monetário associado.	custo do ciclo de vida, custos operacionais, critérios de investimento.
Humano	São ativos intangíveis que estão relacionados principalmente ao capital humano das organizações e ao relacionamento interpessoal da equipe.	experiência, liderança, trabalho em equipe.
Informacionais	São ativos intangíveis que são coletados, organizados e estruturados de tal forma que geram informações relevantes para o contexto de negócio das organizações.	desempenho, custo, atividades, condições, oportunidades.

Fonte: (BSI, 2008)

A BSI (2008) também destaca que seu escopo está centralizado nos ativos físicos, os outros tipos de ativos só serão considerados se estiverem relação com os ativos físicos. A Figura 2 ilustra a classificação dos tipos de ativos com uma breve descrição do foco e do

contexto de negócio de cada categoria para a BSI (2008).

Figura 2 – Classificação dos tipos de ativos para a PAS-55



Fonte: Adaptado de (BSI, 2008)

Segundo ISO-55000 (2014) e ZAMPOLLI MARISA e Association (2015), o valor do ativo irá variar de acordo com as etapas do seu ciclo de vida e as diferentes organizações e seus *stakeholders*. Ciclo de vida é conceituado na norma técnica ISO-55000 (2014) como os estágios que envolvem a gestão de um ativo. A norma ainda salienta que o número de estágios e as atividades envolvidas no ciclo de vida vão variar de acordo com as diferentes necessidades das organizações e setores da indústria. Contudo, em geral o ciclo de vida dos ativos é composto por:

- Aquisição, criação ou renovação;
- Utilização;
- Manutenção;
- Desclassificação, alienação ou descarte.

2.2 GESTÃO DE ATIVOS

Com o passar dos anos estabeleceu-se a necessidade de evoluir a manutenção dos ativos pois, esta deixou de ser uma tarefa exclusivamente de consertar aquilo que está quebrado, para se transformar em uma atividade de extrema importância dentro do processo da

gestão de ativos de uma organização (TAVARES; GOMES, 2015). Muitas vezes os ativos geridos são físicos contudo, algumas empresas já estão enxergando a necessidade de também gerir os outros diversos tipos de ativos existentes da instituição.

A gestão de ativos precisa ser conduzida de forma planejada, sistemática e organizada a fim de preservar os ativos, prolongar seu tempo de vida útil, prever possíveis falhas no funcionamento, controlar seu ciclo de vida, conseguir ter uma estimativa de previsão dos custos necessários para manter os ativos funcionando adequadamente, entre outros (SILVA; MELO, 2017b).

Nos últimos anos, a gestão de ativos vem se tornando uma área cada vez mais valorizada devido ao fato de que as organizações perceberam a necessidade de reduzir os gastos com ajustes, reparos e substituições, passando a tomar ações com características mais de planejamento-estratégico no que diz respeito aos ativos da organização. Essas ações possuem uma influência significativa no sucesso ou fracasso das instituições (TAVARES; GOMES, 2015).

Devido a isso uma série com três normas foram desenvolvidas com o objetivo de padronizar a gestão de ativos de forma que elas podem ser aplicadas para organizações de diversos tipos, com setores variados e características diversas, ou seja, podem ser usadas por organizações das áreas industrial, comercial, varejo, de porte pequeno, médio, grande, entre outros (WAGNER, 2014). Essas normas foram oficialmente divulgadas em 2014 pela ISO, são elas:

- ISO-55000 mostra uma visão geral da gestão de ativos, seus princípios e terminologias básicas. Dentro dos principais conceitos apresentados estão contidas as definições de ativos, gestão de ativos, sistemas de gestão de ativos, além de outros termos utilizados na área;
- ISO-55001 aborda os requisitos necessários que os sistemas gerenciadores de ativos possam ser aplicados de forma efetiva;
- ISO-55002 trata das diretrizes para a aplicação da norma 55001 fornecendo exemplos e guias para a implantação de sistemas de gestão de ativos nas organizações.

A Figura 3 apresenta um resumo das estruturas das normas supracitadas. No Brasil, foi desenvolvida a Comissão da ABNT/CEE-251 (Comissão de Estudo Especial de Gestão de Ativos) coordenada pela Associação Brasileira de Manutenção e Gestão de Ativos (ABRAMAN) em parceria com o Instituto Brasileiro do Cobre para adequação das normas

para o idioma português (ABRAMAN, 2016).

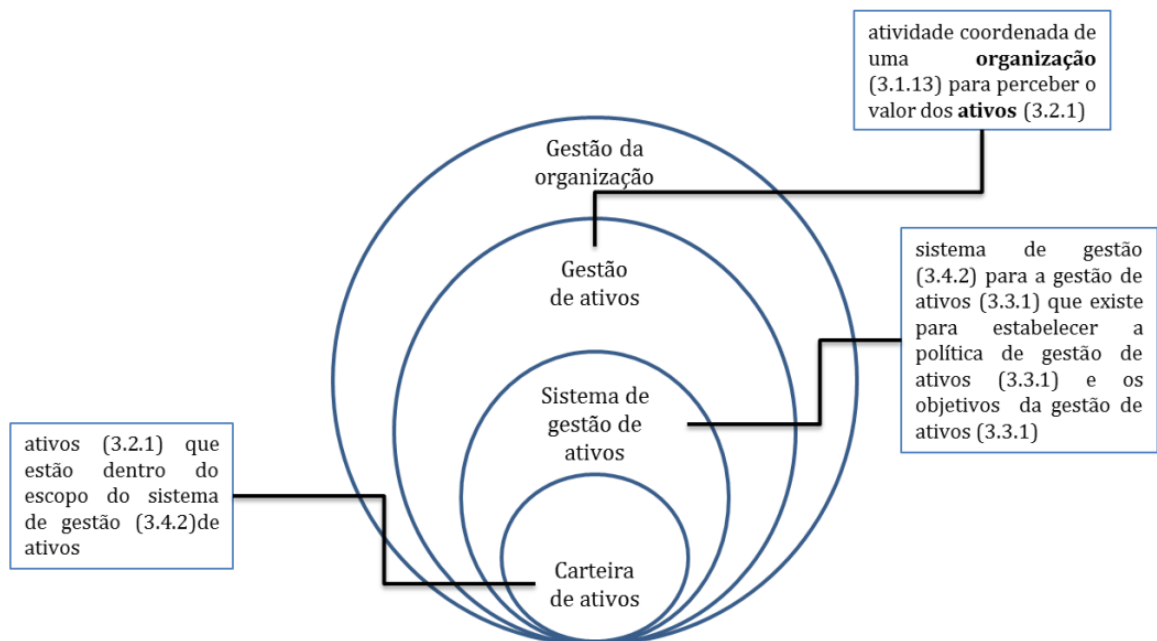
Figura 3 – Resumo das estruturas das ISO-55000, ISO-55001 e ISO-55002



Fonte: (ZAMPOLLI MARISA E ASSOCIATION, 2018)

A Figura 4 mostra os principais termos encontrados na norma ISO-55000 e como eles estão encadeados entre si. As próximas seções deste capítulo irão conceituar, descrever e exemplificar os termos: ativo, gestão de ativos e sistema de gestão de ativos.

Figura 4 – Relações entre os principais termos da ISO-55000



Fonte: (Comissão de Estudo Especial de Gestão de Ativos ABNT/CEE-251, 2013)

A BSI (2008) e a ISO-55000 (2014) conceituam gestão de ativos como sendo atividades e ações executadas de forma sistemática, metódica e coordenada, por meio das quais uma organização otimiza e gerencia seus ativos, sistemas de ativos, desempenho, riscos e despesas ao longo de todo o ciclo de vida do ativo, com o objetivo de alcançar a estratégia de negócio definida pela organização.

Importante destacar que a ISO-55000 diz que a gestão de ativos é baseada em um conjunto de quatro fundamentos. Esses fundamentos descritos na ISO são apresentados na Tabela 4 por meio de uma breve descrição de cada um deles.

Tabela 3 – Fundamentos da Gestão de Ativos

Fundamentos	Descrição
Valor	Os ativos existem com o objetivo de agregar valor para a organização e para os <i>stakeholders</i> que a compõe. A gestão de ativos por ela mesma não tem significado para a organização. É preciso que o valor do ativo esteja em conformidade com os propósitos e interesses da organização.
Alinhamento	A gestão de ativos transforma os objetivos organizacionais em tarefas, decisões, atividades técnicas e financeiras, de tal forma que as decisões tomadas na gestão de ativos auxiliam a alcançar os objetivos da instituição.
Liderança	A capacidade de liderar e a cultura do local de trabalho são determinantes na concretização do valor de um ativo. Em todos os níveis gerenciais a liderança e comprometimento são itens de sucesso fundamentais para estabelecer, exercer e aprimorar a gestão de ativos dentro de uma organização.
Garantia	A gestão de ativos fornece a certeza de que os ativos vão cumprir a finalidade à qual foram destinados, assim como vão desempenhar suas funções adequadamente. A necessidade de garantia surge devido ao fato ser preciso proteção e precaução para governar efetivamente uma organização. Esta mesma garantia se aplica a ativos, gestão de ativos e sistema de gestão de ativos.

Fonte: (ISO-55000, 2014)

Desta forma é possível compreender a necessidade e a importância de gerir os ativos de uma organização para o sucesso da mesma. Consequentemente, os benefícios associados a gestão de ativos são diversos, a Tabela 4 apresenta uma breve descrição dos princi-

país benefícios da gestão de ativos citados pela ISO-55000 (2014) com suas respectivas descrições.

Tabela 4 – Principais Benefícios da Gestão de Ativos

Benefício	Descrição
Melhoria do desempenho financeiro	ampliar o retorno dos investimentos e reduzir os custos pode ser alcançado preservando o valor dos ativos e, sem sacrificar a realização a curto ou a longo prazo dos objetivos da organização.
Decisões de investimento a partir dos ativos informacionais	permitir a organização melhorar o processo de tomada de decisão e equilibrar de forma mais eficaz os custos, riscos, oportunidades e desempenho associado aos ativos e ao negócio da organização.
Gestão de risco	auxiliar na redução das perdas, inclusive, financeiras e administra as consequências dos riscos minimizando o impacto gerados a organização, como multas e penalidades.
Melhoria dos serviços e resultados finais	assegurar o desempenho satisfatório dos ativos geram melhoria nos produtos ou serviços de forma a atenderem ou superarem as expectativas dos clientes e <i>stakeholders</i> .
Demonstração de responsabilidade social	melhorar a capacidade da organização para demonstrar práticas empresariais socialmente responsáveis e éticas, como, reduzir as emissões, conservar os recursos e se adaptar às mudanças climáticas.
Demonstração de conformidade	melhorar a capacidade de transparência com os requisitos legais, estatutárias e regulamentares, bem como à aderência aos padrões, políticas e processos da gestão de ativos.
Maior eficiência e eficácia	auxiliar na revisão e melhoria de processos e procedimentos assim como a realização dos objetivos organizacionais.

Fonte: (ISO-55000, 2014)

Sistema de Gestão de Ativos

O estabelecimento de um sistema de gestão de ativos é uma decisão estratégica fundamental para o sucesso de uma organização. Atualmente, as informações e dados coletados pelos ativos precisam ser filtrados, analisados e interpretados por meio de técnicas e ferramentas especializadas no contexto da gestão de ativos e do negócio da organização,

diferentemente do que ocorria a alguns anos atrás no qual apenas bastava que os equipamentos estivessem em condições de operar adequadamente (MARCO, 2013).

Diante disso, a BSI (2008) organizou a estrutura do sistema de gestão de ativos de acordo com a estrutura de Plan, Do, Check, Act (PDCA), representada graficamente pelas setas em azul, e os retângulos em amarelo mostram um resumo com as subtarefas de cada fase que compõe a estrutura PDCA, conforme ilustrado na Figura 5.

Figura 5 – Estrutura do Sistema de Gestão de Ativos PAS 55



Fonte: (MARCO, 2013)

Importante observar que algumas áreas de competência da gestão de ativos identificadas na RSL apresentada no Capítulo 3 aparece de forma explícita nas fases da estrutura PDCA do sistema de gestão de ativos, como por exemplo, gestão de informação (ou dados) e gestão de riscos na fase Desenvolver. Enquanto que outras áreas aparecem de forma mais implícita nas fases, como por exemplo a gestão de manutenção na fase Controlar que aparece dentro das atividades do ciclo de vida do ativo.

Todas as decisões relacionadas aos ativos precisam estar em sintonia com os objetivos estratégicos que a organização deseja alcançar, considerando que os ativos não são partes individuais que operam separadamente, ao contrário os ativos fazem parte de um grande ecossistema corporativo tornando extremamente necessário que eles interajam e trabalhem em conjunto. Por isso é preciso gerir os ativos com o auxílio de sistemas de

gestão pois assim, os *stakeholders* têm mais subsídios para melhor planejar, racionalizar e priorizar as ações e as alternativas que serão tomadas. Além disso, também é relevante a utilização de sistemas de gestão de ativos com métodos MCDM pois assim, é possível analisar a decisão tomada por mais de um aspecto (HALASZ; FERRAZ, 2016).

Áreas de Competência da Gestão de Ativos

De acordo com ISO-55000 (2014), Hastings (2015) e suas atualizações Hastings (2021) existem diversas áreas relacionadas a gestão de ativos inclusive, a ISO-55000 salienta que essas áreas não se limitam apenas as que são citadas no seu anexo A. As referidas áreas englobam, principalmente, o planejamento e a execução da gestão de ativos, sendo estes analisados sob diferentes pontos de vista.

De acordo com Hastings (2015) e suas atualizações Hastings (2021) as áreas de competência da gestão de ativos são divididas em quatro segmentos, são eles:

- **Negócio** - são áreas relacionadas diretamente com o desenvolvimento do negócio, como, análise financeira e previsão de demanda;
- **Técnico geral** - essas áreas são associadas ao conhecimento técnico do negócio de forma abrangente, como, conhecimento técnico específico em um tipo de indústria;
- **Técnico do ativo** - são áreas que correspondem ao conhecimento técnico específico de ativos, como, gestão de risco e de manutenção;
- **Projetos e pessoas** - essas áreas são essencialmente ligadas ao progresso do relacionamento interpessoal da equipe, como, comunicação e negociação.

A Tabela 5 apresenta um breve resumo das áreas de competência técnica (geral e do ativo) da gestão de ativos mais citadas na literatura com suas respectivas descrições.

Tabela 5 – Resumo das áreas de competência da gestão de ativos

Áreas		Descrição
Gestão (GA)	Ambiental	Corresponde a um grupo de ações integradas e coordenadas que uma organização executa associada ao meio ambiente. O conceito de meio ambiente está relacionado aos recursos naturais como flora, fauna, ar, água e terra. A gestão ambiental engloba aspectos como impacto ambiental, prevenção da poluição e ecossistema.

Gestão de Dependabilidade (GD)	Refere-se a ações planejadas, organizadas e controladas para orientar uma organização sob o ponto de vista da dependabilidade. O termo dependabilidade está associado a capacidade de executar uma determinada tarefa no momento e sobre as condições que lhe são solicitadas. A dependabilidade possui vários outros aspectos embutidos como disponibilidade, confiabilidade e capacidade de recuperação.
Gestão de Qualidade (GQ)	Diz respeito a condução de atividades de planejamento, controle e monitoramento de uma organização sobre o ponto de vista da qualidade dos produtos, serviços e processos. O termo qualidade corresponde ao nível em que o cumprimento de determinados requisitos ocorre. A gestão da qualidade pode incluir políticas de qualidade, processos, planejamento, garantia de qualidade, controle e melhoria da qualidade.
Gestão de Manutenção (GM)	Compreende um conjunto de ações de planejamento, organização e execução da manutenção. A gestão da manutenção abrange os objetivos, as estratégias e as responsabilidades da manutenção. O termo manutenção inclui diversas atividades durante o ciclo de vida de um ativo focando principalmente em repará-lo e torná-lo funcional. Os objetivos da gestão da manutenção englobam aspectos como redução de custos, segurança, vida útil e preservação do valor do ativo.
Gestão de Risco (GR)	Tem como objetivo proteger os valores da organização dos possíveis riscos. Um risco, geralmente, está associado a potenciais eventos e suas consequências. A gestão de riscos abrange integração, concepção, implementação, avaliação e melhoria em toda a organização através de ações planejadas, organizadas e controladas. Para a gestão de risco ser eficaz ela precisa englobar alguns princípios como melhoria contínua, customização e fatores humanos e culturais.

Gestão de Configuração (GC)	Está relacionado a um grupo de ações estruturadas e organizadas de mudanças nos ativos. Essas mudanças precisam ser registradas e controladas através de um documento de configuração. Além disso, as mudanças correspondem a alterações que não foram previstas anteriormente na etapa de design do ativo, podendo ser da classe 1 (mudanças de grande impacto) ou da classe 2 (mudanças de pequeno impacto). A gestão de configuração deve ser aplicada durante todo o período de vida do ativo.
-----------------------------	--

Fonte: (IEC, 2014), (ISO9000, 2015), (ISO31000, 2018), (INSTITUTION, 2018), (ISO21886, 2019), (ISO14050, 2020)

2.3 ANÁLISE MULTICRITÉRIO DE APOIO À DECISÃO

Segundo (ALBAHRI et al., 2021) o termo Priorização também é aplicado para definir problemas complexos de Multiple Attribute Decision Making (MADM) que, conforme Bendjenna, Charre e Zarour (2012) e Yu, Xu e Liu (2013), desde a década de 60 até os dias atuais a *Multiple Criteria Decision Analysis/Aiding (MCDA)* está crescendo cada vez mais e ganhando grande destaque no campo da ciência de decisão. Além disso, também está sendo amplamente empregada em diversas outras áreas como por exemplo, tecnologia (AKBAR et al., 2020), saúde (YANG et al., 2021) e energia (ROZGA et al., 2021). De acordo com Cinelli et al. (2020) existe um conjunto de termos que são utilizados para referenciar MCDA, as expressões MCDM e *MADM* por exemplo fazem parte desse conjunto.

Conforme Ishizaka e Nemery (2013), MCDA é aplicada quando é preciso tomar uma decisão para encontrar a solução de um determinado problema. Yu, Xu e Liu (2013) complementa afirmando que esta tomada de decisão inclui algumas atividades principais como selecionar as alternativas mais adequadas dentro de um grupo de possíveis alternativas (também chamadas de alternativas candidatas), avaliar as alternativas selecionadas de acordo com múltiplos critérios (na maioria das vezes conflitantes) e, por fim, ordenar as alternativas escolhidas.

Almahdi et al. (2019) afirma que MCDA é uma metodologia que tem como objetivo avaliar diferentes alternativas através de critérios, relacionar essas alternativas e produzir uma avaliação geral. Já Cinelli et al. (2020) afirma que MCDA é um processo que avalia diferentes alternativas por meio de critérios, primeiramente e preferências dos *stakeholders*, posteriormente. No final deve ser construído um modelo para unificar as preferências e os múltiplos critérios aplicados nas alternativas pois, esse modelo permitirá a comparação das alternativas auxiliando na recomendação de uma decisão.

De acordo com Almahdi et al. (2019), os objetivos da MCDA são (1) priorizar as alternativas candidatas conforme ordem decrescente de desempenho, (2) classificar alternativas viáveis e, por fim (3) auxiliar a escolha da alternativa mais adequada.

Métodos multicritério de apoio à decisão

Segundo Bendjenna, Charre e Zarour (2012) a MCDA engloba diversos procedimentos sistemáticos que aplicam múltiplos critérios para apoiar os tomadores de decisão, esses são os chamados métodos MCDM. Conforme Bendjenna, Charre e Zarour (2012), esses métodos são aplicados quando apenas a intuição dos tomadores de decisão não é suficiente.

Conforme Ishizaka e Nemery (2013) e Moreira, Santos e Gomes (2019), os métodos MCDM auxiliam a organizar, estruturar e analisar problemas complexos de MCDA sobre vários pontos de vista diferentes através do auxílio de critérios. O principal objetivo desses métodos é fornecer suporte a MCDA por meio de uma coleção de passos bem definidos que vão apoiar na indicação da alternativa mais adequada para os *stakeholders*.

De acordo com Ishizaka e Nemery (2013), os métodos MCDM podem ser classificados em três categorias distintas são elas: agregação total, *outranking* e nível de referência. A Tabela 6 apresenta uma breve descrição dessas três categorias com alguns exemplos de métodos MCDM pertencentes em cada categoria.

Tabela 6 – Resumo das categorias dos métodos MCDM

Categoria	Descrição	Exemplo
Agregação total, função de valor ou escola americana	Os métodos dessa categoria tem como característica avaliar o resultado de cada critério individualmente para mais adiante consolidá-los gerando um resultado global para cada alternativa. Esse mecanismo utiliza o conceito de resultado compensatório, ou seja, se um critério obteve um resultado negativo outro critério poderá equilibrar isso com um resultado positivo.	AHP e Multi-attribute utility theory (MAUT)
<i>O outranking</i> ou escola francesa	Ao contrário da categoria anterior, a principal característica dos métodos dessa categoria está no fato dos resultados não serem compensatórios, ou seja, um resultado positivo não poderá compensar um outro resultado negativo.	PROMETHEE e ELECTRE

Nível de referência, aspiração ou goal	Diferentemente das duas categorias anteriormente descritas, essa categoria estabelece um objetivo ideal ou nível de referência, determina um objetivo individual para cada um dos critérios e busca encontrar a alternativa que mais se aproxima do objetivo ideal ou nível de referência estabelecido.	Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) e Multicriteria Optimization and Compromise Solution (VIKOR)
--	---	---

Fonte: (BELTON; STEWART, 2002), (ISHIZAKA; NEMERY, 2013), (PAPATHANASIOU; PLOSKAS et al., 2018) e (MOREIRA; SANTOS; GOMES, 2019)

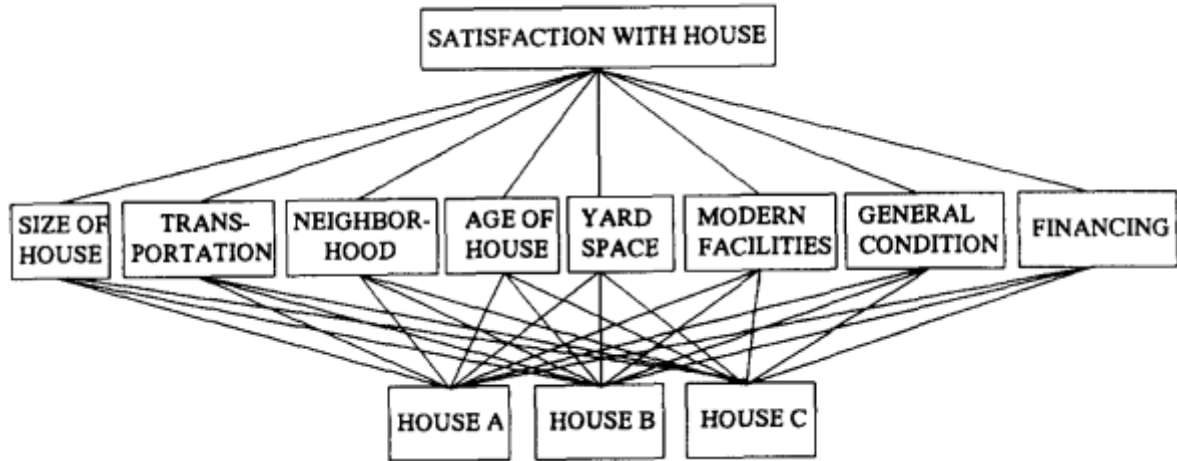
Atualmente, existem diversos métodos (também chamados de técnicas) MCDM porém, alguns apresentam mais destaque na literatura que outros (ISHIZAKA; NEMERY, 2013). Dentre eles o AHP é sem dúvida o mais referenciado.

AHP

De acordo com Saaty (1990), a técnica AHP é um mecanismo de tomada de decisão que utiliza múltiplos critérios durante seu processo. Essa técnica usa decomposição de um problema em árvore hierárquica para encontrar a melhor alternativa dentre as disponíveis. No topo da árvore está o objetivo que se quer alcançar, em seguida estão os critérios que serão utilizados para avaliar as alternativas e, por fim estão as alternativas de fato (AKCAN;

GÜLDEŞ, 2019). A Figura 6 exibe um exemplo de uma árvore hierárquica da técnica AHP.

Figura 6 – Decomposição de um problema em árvore hierárquica



Fonte: (SAATY, 1990)

No exemplo da Figura 6 o objetivo que se quer alcançar é a satisfação com uma casa, os critérios são: o tamanho da casa, transporte, vizinhança, idade da casa, tamanho do jardim, instalações modernas, financiamento e condições em geral e, por fim as alternativas são: casa A, casa B e casa C. Importante observar que o objetivo no topo está ligado a cada um dos critérios e estes estão ligados as alternativas de forma a criar uma explosão combinatória de todas as possibilidades disponíveis.

A AHP é uma técnica muito flexível pois, já foi utilizada em uma larga variedade de domínios diferentes conforme descrito em Vaidya e Kumar (2006) e além disso, os critérios podem ser tanto quantitativos, como qualitativos, como ambos (KHANMOHAMMADI; REZAEIAHARI, 2014). Essa técnica ajuda o tomador de decisão a apontar quais são as suas escolhas e a determinar os critérios e seus valores de forma bastante direta.

Após a decomposição de um problema em árvore hierárquica é preciso fazer uma matriz de comparação para atribuir um valor correspondente a importância de cada um dos critérios estabelecidos em relação ao objetivo que se quer alcançar. Para isso é realizada uma comparação em pares entre os critérios que pertencem ao mesmo nível hierárquico, ou seja, os critérios que possuem o mesmo nível hierárquico devem pertencer a mesma matriz de comparação e o critério correspondente a primeira linha é comparado com os critérios das colunas e assim sucessivamente. Essa comparação é feita através da utilização de uma escala proposta por Saaty (1990) que inicia no número 1 e finaliza no número 9, conforme apresentada pela Tabela 7. Essa tabela possui três colunas: nível de importância, definição e descrição. A primeira coluna exibe os valores numéricos correspondentes aos níveis de importância de um critério em relação a outro, a segunda coluna mostra a definição equivalente aos níveis de importância e, por última a terceira coluna expõe a explicação de cada um dos níveis de importância.

Tabela 7 – Escala fundamental

Nível de importância	Definição	Descrição
1	Igual	Dois elementos contribuem de forma igual para alcançar o objetivo
3	Moderada	De acordo com a experiência e o julgamento dos tomadores de decisão, existe um critério possui um nível de importância um pouco maior em relação a outro
5	Forte	Conforme a experiência e o julgamento dos tomadores de decisão, existe um critério possui um nível de importância maior em relação a outro
7	Muito forte	Um critério é fortemente favorável em relação a outro para alcançar o objetivo desejado
9	Extrema	Todas as evidências favorecem extremamente um critério em relação a outro para alcançar o objetivo desejado
2, 4, 6, 8	Valores intermediários	Utilizado quando é necessário um nível intermediário de importância

Fonte: adaptado de (SAATY, 1990)

Importante destacar que a linha da diagonal sempre deve possuir o valor 1 pois, esta equivale a comparar o mesmo critério na linha e na coluna da matriz. Além disso é relevante mencionar que os valores atribuídos na parte superior da diagonal devem ser refletidos na parte inferior inserindo o valor atribuído no denominador da fração, por exemplo caso o valor entre os critérios vizinhança e transporte seja de 5 o valor entre transporte e vizinhança será de $\frac{1}{5}$.

A AHP é uma técnica que estima muito pela precisão e corretude dos cálculos que são realizados, por esse motivo após a criação da matriz de comparação um teste de consistência deve ser realizado para assim gerar um Índice de Consistência (IC) e a Razão de Consistência (RC) que servirão para avaliar a coerência dos valores que foram atribuídos aos critérios na matriz de comparação.

Essa é uma técnica amplamente conhecida na academia e na indústria com diversos trabalhos publicados, inclusive utilizando técnicas de modelagem de IA no domínio da gestão de ativos em rede, como pode ser visualizado através da RSL apresentada no Capítulo 3.

2.4 INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

O termo Inteligência Artificial foi concebido pela primeira vez na conferência de Dartmouth em 1956 a qual foi organizada pelo cientista John MacCarthy que, atualmente, possui reconhecimento internacional como um dos pioneiros na área de pesquisa de IA (ENGELBRECHT, 2007) e (COMMITTEE et al., 2018).

Na literatura são apresentadas diversas definições de IA, isso ocorre pelo fato do conceito de IA não possuir uma compreensão única para todos os pesquisadores e estudiosos pois, até o momento, não existe uma definição amplamente aceita de inteligência artificial. Inclusive, caso os professores de uma mesma universidade fossem questionados sobre o conceito de IA dificilmente eles forneceriam uma definição igual, mesmo que eles pertencessem a um mesmo departamento pois, a definição de IA para um professor de redes neurais certamente não será a mesma definição para um professor de robótica.

De acordo com Business e Strategy (2017), IA é constituída de diversas tecnologias que possuem a capacidade de executar tarefas que comumente exigem a inteligência de um ser humano, como por exemplo, percepção visual, reconhecimento de fala e tradução de idiomas. Segundo Engelbrecht (2007) diz que IA é um campo da ciência que estuda como fazer os computadores realizarem tarefas na qual as pessoas realizariam de forma mais satisfatória é uma definição ampla e muito falha. Conforme Corea (2019) IA são sistemas que possuem capacidade de autoaprendizagem, ou seja, aprendem como aprender.

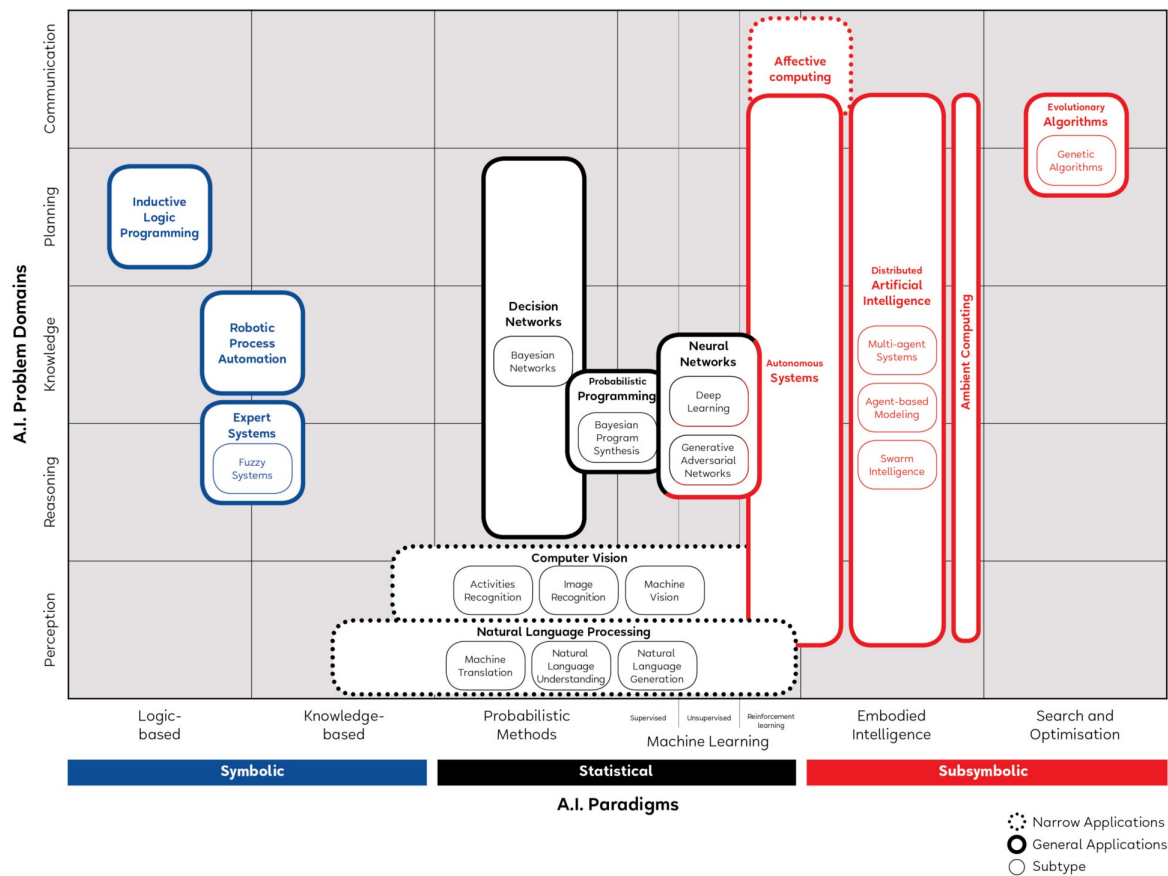
Já Russell e Norvig (2016) apresentam oito definições de IA organizadas em quatro categorias distintas entre si. Cada categoria é composta por dois conceitos de IA abordando sua definição por diferentes pontos de vista. As categorias aplicadas são: o pensamento humano, o raciocínio lógico, a conduta humana e o comportamento racional. Metaxiotis (2009) também apresenta diversas definições de IA e argumenta que até o momento nenhum dos conceitos por ele referenciados foi universalmente aceito, possivelmente devido a utilização do termo "inteligência", que até então é extremamente abstrato e de difícil mensuração. Assim, Metaxiotis (2009) finaliza definindo IA como uma simulação da inteligência humana aplicada em uma máquina, a fim de tornar a máquina mais eficiente a ponto de identificar e resolver um determinado problema.

O fato é que até o momento não existe um entendimento único à respeito da definição de IA e diversos autores conceituam de diferentes maneiras de acordo com seus pontos de vista e experiências. Apesar disso, é nítida e muito frequente a relevância dela nos dias atuais em vários aspectos, em especial no tocante à priorização. Muitas tecnologias de IA procuram encontrar soluções para ajudar na seleção da alternativa ótima que atenda a situação além de melhor orientarem o(s) tomador(es) de decisão considerando as vantagens e desvantagens de cada alternativa, os critérios e o *trade-off* associado a cada situação (PHILLIPS-WREN, 2017) e (VARELA; BARBOSA; PUTNIK, 2011).

Tecnologias de Inteligência Artificial

Em relação as tecnologias de IA, diversos autores como Metaxiotis (2009) e Engelbrecht (2007) afirmam que essas tecnologias (também chamadas de técnicas) podem ser categorizadas de acordo com várias vertentes por isso, a fim de melhor organizar o conhecimento, Corea (2019) classifica as tecnologias de IA de acordo com dois grandes grupos, o domínio do problema e o paradigma, conforme apresentado na Figura 7.

Figura 7 – Tecnologias de Inteligência Artificial



Fonte: (COREA, 2019)

O domínio do problema representado pelo eixo Y da Figura 7 indica uma situação em que, tipicamente, a IA é capaz de resolver um problema de acordo com o histórico de evidências na literatura, além disso este eixo é subdividido em cinco categorias, são elas, percepção, raciocínio, conhecimento, planejamento e comunicação. A Tabela 8 apresenta uma breve descrição dos domínios do problema da IA com suas respectivas descrições.

Tabela 8 – Categorias do Domínio do Problema de IA

Categoria	Descrição
-----------	-----------

Percepção	Possui a capacidade de transformar percepções sensoriais brutas, geralmente recebidas como entrada, em informações úteis.
Raciocínio	Apresenta a capacidade de solucionar problemas.
Conhecimento	Possui a habilidade de representar e entender o mundo.
Planejamento	Possui a capacidade de estabelecer e definir determinados objetivos e alcançá-los.
Comunicação	Apresenta a capacidade de entender uma linguagem e se comunicar através dessa linguagem.

Fonte: (COREA, 2019)

Por outro lado, o paradigma representado pelo eixo X da Figura 7 indica quais são os tipos de abordagens computacionais utilizadas para resolver determinados problemas e é subdividido em seis categorias, são elas, baseado em lógica, baseado em conhecimento, métodos probabilísticos, aprendizagem de máquina, inteligência de organismos e pesquisa e otimização. Inclusive importante mencionar que Russell e Norvig (2016) fazem a divisão das seções dos capítulos do seu livro de forma semelhante às categorias de paradigmas mencionadas anteriormente. A Tabela 9 apresenta uma breve descrição dos paradigmas da IA com suas respectivas descrições e exemplos de técnicas de IA que utilizam esses paradigmas.

Tabela 9 – Categorias do Paradigma da IA

Categoria	Descrição	Exemplo
Baseado em lógica	Utiliza-se do raciocínio com formalismo para representar o conhecimento e solucionar problemas.	Programação em lógica indutiva e especificação formal.
Baseado em conhecimento	Utiliza-se de mecanismos fundamentados em ontologias e enormes bancos de dados compostos por informações e regras.	Sistemas especialista e sistemas <i>fuzzy</i> .
Métodos probabilísticos	É utilizado para provar a existência de objetos combinatórios com propriedades especificadas portanto, é possível considerar um objeto aleatório a partir de um espaço de probabilidade adequado e calcular a probabilidade de que ele satisfaça determinadas condições.	Redes de decisão e redes bayesianas.

Aprendizagem de máquina	Usa de recursos que permitem que os algoritmos aprendam a partir dos dados analisando-os.	Redes neurais e aprendizagem profunda.
Inteligência de organismos	Usa o conceito de que algoritmos que reproduzem o comportamento e as características de determinados organismos vivos que agem em coletividade e conseguem prover resultados bastante satisfatórios.	Inteligência de enxames, sistemas multiagentes.
Busca e otimização	É utilizado para pesquisar de forma inteligente uma enorme quantidade de soluções possíveis para solucionar algum problema.	Algoritmos evolucionários e algoritmos genéticos.

Fonte: (COREA, 2019), (ALON; SPENCER, 2016) e (MATOUŠEK; VONDRÁK, 2008)

A Tabela 10 apresenta uma breve descrição das tecnologias de IA mais citadas na literatura com suas respectivas descrições, de acordo com Engelbrecht (2007), Metaxiotis (2009), Committee et al. (2018) e Arrieta et al. (2019).

Tabela 10 – Resumo de algumas das tecnologias de IA muito citadas na literatura

Tecnologias de IA	Descrição
Aprendizagem de Máquina (AM)	Utiliza a análise de dados para detectar, extrapolar e tomar decisões baseado em padrões relevantes para solução de problemas diversos. Além disso, ela possui um aspecto iterativo pois, as camadas da rede são expostas a novos dados e a rede consegue, automaticamente se adaptar as novas circunstâncias e aprender com as interações anteriores com o mínimo possível de intervenção humana. Muito eficiente para reconhecimento de padrões.
Rede Neural Artificial (RNA)	Devido a engenhosidade, complexidade e paralelismo das tarefas do cérebro humano desenvolveu-se essa tecnologia que procura reproduzir, através de algoritmos, características, comportamentos e fatores biológicos do cérebro humano, como por exemplo os neurônios. Geralmente uma rede neural é constituída de algumas camadas, como, camada de entrada, escondida, de saída e cada uma delas está conectada total ou parcialmente com a próxima camada.

Inteligência de Enxame (IE)		Está diretamente relacionada ao estudo da organização e do comportamento de enxames ou colônias de organismos vivos sociais, por exemplo, formigas, pássaros, abelhas, peixes. Por isso são classificados como algoritmos bio-inspirados. Estudos nessa área culminaram no desenvolvimento de diversos algoritmos muito eficientes para os mais variados propósitos, como, otimização, agrupamento e busca.
Sistema Fuzzy (SF)		Se aproxima do raciocínio humano devido não exatidão a ela associada. Muitas teorias utilizam da lógica de forma binária permitindo apenas 0 ou 1. Já os sistemas <i>fuzzy</i> permitem o chamado raciocínio aproximado pois, usam um determinado grau de certeza, tornando possível raciocinar com dados incertos e inferir novos fatos, com um certo grau de certeza associado a cada elemento.
Algoritmo (AE)	Evolutivo	Impulsionou o desenvolvimento de algoritmos que objetivam imitar o processo da teoria da evolução natural das espécies proposto por Charles Darwin no qual o principal conceito é a sobrevivência do mais apto. Diferentes categorias de algoritmos foram criados a partir do paradigma de algoritmos evolucionários, tais como, algoritmos genéticos e culturais, programação genética e evolucionária, entre outros.
Algoritmo (AG)	Genético	Faz parte dos algoritmos evolucionários contudo, utiliza os princípios da seleção natural para modelar a evolução genética, onde as características dos indivíduos são expressas usando genótipos para representar indivíduos (possíveis soluções), seleção para modelagem da sobrevivência do mais apto (melhor solução) o qual tem maior chance de criar uma descendência. Amplamente usado em busca e otimização.
Sistema (SE)	Especialista	Utilizam regras previamente estabelecidas para domínios específicos e bem definidos com o objetivo de executar um raciocínio para resolver problemas e inferir possíveis soluções. Amplamente utilizado para tomada de decisões. Importante destacar que os termos sistema especialista e sistema especialista baseado em conhecimento são sinônimos.

Aprendizagem profunda (AP)	Pro-	É derivada das redes neurais contudo, usa diversas camadas de neurônios artificiais para resolver problemas mais complexos no qual as redes neurais comuns demorariam muito mais tempo para resolver ou não apresentariam uma solução satisfatória. Na aprendizagem profunda cada camada, geralmente, aprende a se concentrar em um aspecto específico do problema desenvolvendo um nível de aprendizagem cada vez maior ao longo das camadas. É frequentemente usada para classificar informações de imagens, texto ou áudio.
----------------------------	------	--

Fonte: (ENGELBRECHT, 2007), (METAXIOTIS, 2009), (COMMITTEE et al., 2018) e (ARRIETA et al., 2019)

2.5 TRABALHOS RELACIONADOS

Os trabalhos relacionados que serão detalhados a seguir foram identificados a partir do *snowballing* realizado durante a RSL que será apresentada no Capítulo 3.

A generic asset management framework for optimising maintenance investment decision

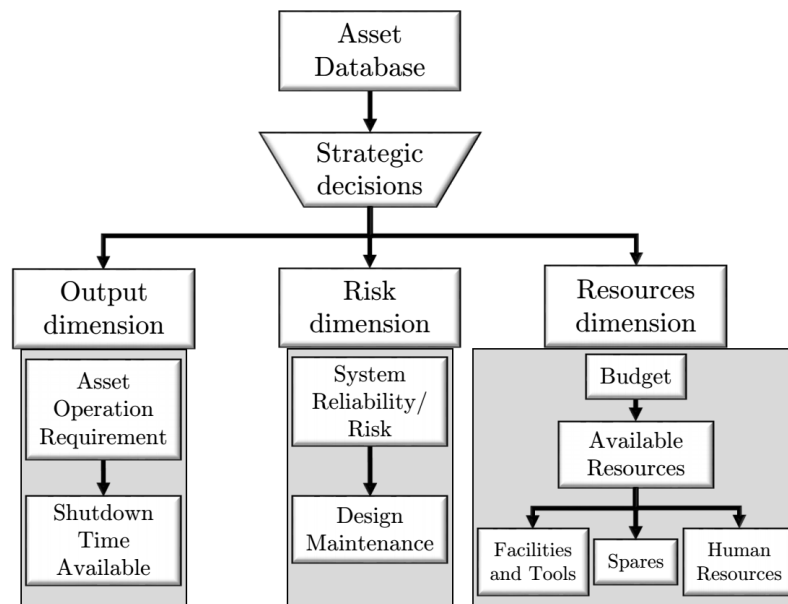
O trabalho de Tam e Price (2008a) apresenta uma proposta de um *framework* chamado Generic Asset Maintenance Optimisation Framework (GAMOF) para otimização da manutenção, o qual possui características bastante definidas, tais como, é direcionado para nas atividades de manutenção de ativos físicos, está alinhado com os objetivos de negócio da organização, é aplicado em paradas de manutenção e, tem como foco corporações que precisam mensurar o valor financeiro de um ativo durante o ciclo de vida deste.

O *framework* proposto é composto de três partes, são elas, base de dados do ativos, decisões estratégicas e dimensões. O trabalho explica todos os passos, a finalidade, onde são aplicados e os cálculos que precisam ser realizados. A Figura 8 apresenta o *framework* proposto. Importante observar que todas as partes estão relacionadas, ou seja, a saída gerada na parte anterior é utilizada como entrada para a próxima parte.

A primeira parte do *framework* diz respeito à base de dados do ativos. Essa parte é considerada bastante desafiadora devido a dificuldade de encontrar uma base que seja formada com dados de ativos físicos, atividades de manutenção, que esteja disponível e possua informações consistentes. Contudo, a relevância da base de dados é diretamente proporcional a sua dificuldade de obtenção pois, a partir das informações extraídas da base de dados é que as decisões estratégicas poderão ser realizadas.

Tam e Price (2008a) mostram um exemplo de uma base de dados composta por uma junção de dados de diferentes fontes, tais como, a experiência dos autores, relatórios internos, *workshops* e entrevistas. Os autores destacam algumas informações que eles consideram essenciais serem extraídas a partir da base de dados: padrões de falha, tipo de distribuição, custo da parada de manutenção, custo de recursos, regulamentação, padrões de segurança e política empresarial.

Figura 8 – *Framework* GAMOF



Fonte: Adaptado de (TAM; PRICE, 2008a)

A segunda parte do *framework* corresponde as decisões estratégicas. Essas decisões são compostas pelos dados estratégicos e pelos cenários de manutenção. Os dados estratégicos são informações quantitativas sobre o valor que o gestor de ativos poderá disponibilizar de um determinado recurso da organização para realização da parada de manutenção, alguns exemplos são: a quantidade de tempo e orçamento que a empresa poderá alocar para a realização da manutenção. Já os cenários de manutenção estão relacionados a previsão das consequências geradas em situações na qual os recursos são limitados, por exemplo, quantificar o efeito gerado na manutenção em um cenário em que o tempo alocado não é o suficiente. O gestor de ativos precisa ter bastante cautela com as decisões estratégicas pois, além delas não serem triviais também produzem um impacto que abrange todas as três dimensões do *framework*.

A terceira e última parte do *framework* refere-se a três dimensões de negócio, são elas, dimensão de produção, risco e de recurso. Essas dimensões foram propostas por Tsang et al. (2000) e, pelo fato da otimização da manutenção ser uma tarefa integrada então, as três dimensões devem ser executadas concomitantemente.

A primeira dimensão, produção, foca na geração e entrega dos produtos e/ou serviços

da organização por meio da utilização dos ativos. Além disso essa dimensão também envolve atender requisitos de conformidade tais como, taxa de produção requerida, taxa de envelhecimento do ativo, tempo de desligamento do ativo, aderência a regulamentação da empresa e atendimento ao padrão de qualidade. A fim de facilitar o entendimento, alguns dos requisitos de conformidade são explicados a seguir:

- Taxa de produção requerida - quantitativo esperado pela organização de saída gerada através da utilização do ativo;
- Taxa de envelhecimento do ativo - valor que indica o quanto de tempo decorreu desde fabricação do ativo até o momento da medição. Essa taxa pode estar relacionada a idade do ativo ou a idade efetiva do ativo;
- Tempo de inatividade do ativo - tempo de indisponibilidade temporária do ativo durante a parada de manutenção.

A segunda dimensão, risco, diz respeito à eventos e incidentes inesperados potencialmente perigosos e, as consequências associadas. Os riscos são catalisados devido a deterioração dos ativos que tem influência direta na confiabilidade dos mesmos. Importante destacar que, as consequências dos riscos são geradas por fatores como a frequência da manutenção e as condições em que a manutenção ocorre. As consequências dos riscos podem ser de naturezas diversas, como, perda de produção, perda de vidas humanas (lesões ou até mesmo mortes), dano ao meio ambiente, satisfação do cliente e reputação da empresa, etc.

A terceira e última dimensão, recurso, visa auxiliar na distribuição dos meios necessários para realizar as atividades de manutenção nos ativos a fim de alcançar o desempenho mais otimizado possível considerando aspectos como, a disponibilidade do recurso e, principalmente o orçamento alocado pela organização. Esses recursos podem ser mão-de-obra, transporte, peças de reposição, ferramentas, entre outros. Assim, basicamente, os recursos podem ser classificados em dois grandes grupos, os que possuem custo fixo e os que possuem custo variável. Custo fixo está relacionado ao valor monetário associado com peças de reposição, ferramentas e, assim por diante. Por outro lado, custo variável corresponde a valores financeiros que podem oscilar com relativa frequência, como por exemplo, valor da hora do especialista.

Cada uma das dimensões está associada a um custo, ou seja, o *framework* GAMOF utiliza três custos, são eles, custo da dimensão produção, risco e recurso. O custo da dimensão produção refere-se ao custo de suspender temporariamente o funcionamento do ativo durante o tempo da parada de manutenção. Quando o tempo alocado para a indisponibilidade do ativo não é suficiente então, torna-se necessário acrescentar mais tempo na manutenção. Para calcular essa informação a fórmula 2.1 é executada. Assim, o custo da dimensão produção é significativo se o tempo de inatividade do ativo durante

a parada de manutenção é maior que o tempo alocado pela organização para a execução das atividades de manutenção e, por outro lado, o custo da dimensão produção é zero caso contrário.

$$\begin{aligned} ODC \text{ é significativa, } ODC &= (SDT - NOT).P_p, \\ \text{se } NOT &= (1 - OR_p).T_p < SDT \\ ODC &= 0 \text{ se } NOT > SDT \end{aligned} \quad (2.1)$$

O custo da dimensão risco diz respeito ao custo da probabilidade de falha do ativo juntamente com o custo das consequências caso o ativo venha a falhar de fato. Para calcular essas duas informações as fórmulas 2.2 e 2.3 são executadas. Importante destacar que esse cálculo é realizado duas vezes, uma antes outra depois das atividades de manutenção terem sido cumpridas.

$$\begin{aligned} F(t) &= 1 - R(t), \\ EBDC &= F(t).BDT.BDC \quad (\$/time) \\ F(t)_{system} &= 1 - \prod_i^n R(t)_i \end{aligned} \quad (2.2)$$

$$\begin{aligned} \partial t &\rightarrow 0, \\ r(t) &= \frac{f(t)}{1 - F(t)} \\ RC &= r(t).C_{consequencia} \quad (\$/time) \end{aligned} \quad (2.3)$$

O custo da dimensão recurso está relacionado ao gerenciamento do orçamento disponibilizado para realizar as atividades de manutenção nos ativos. O custo esta dimensão pode ser calculado através do somatório de todos os custos durante o período de tempo necessário para conclusão da manutenção.

A fim de validar o *framework* proposto o trabalho utiliza um exemplo numérico composto de cinco casos diferentes. Todos os casos possuem algumas características em comum, tais como, fazem uso da distribuição de *Weibull*, a parada de manutenção tem duração de 24 horas, o valor da hora do especialista é de \$100 e o custo fixo por hora da parada de manutenção é \$10.000, ou seja, o custo de cada parada de manutenção é de \$240.000. A peculiaridade de cada um dos casos é descrita a seguir:

- Caso 1 - Custo da dimensão produção de 8760 horas;
- Caso 2 - Custo da dimensão produção de 8000 horas;
- Caso 3 - Custo da parada de manutenção é 10 vezes mais caro (\$ 2.4 milhões);

- Caso 4 - Custo da parada de manutenção é 10 vezes mais caro (\$ 2.4 milhões) e custo da dimensão produção de 8000 horas;
- Caso 5 - Custo da parada de manutenção é 10 vezes mais caro (\$ 2.4 milhões) e custo da dimensão produção de 8760 horas.

Logo após a priorização é executada. Esta é estruturada com o custo das dimensões como critérios e os pacotes de manutenção como alternativas. Os pacotes são formados por atividades de manutenção, cada pacote corresponde a um agrupamento de diferentes atividades de manutenção que precisam ser realizadas em um determinado componente do ativo. Ao todo são cinco pacotes e o gestor de ativos poderá escolher entre realizar um, dois, três, quatro ou todos os pacotes em uma parada de manutenção. Vale ressaltar que a combinação dos pacotes gera 32 arranjos possíveis.

A Tabela 11 apresenta um resumo da análise que foi realizada. Importante mencionar que ao final da priorização observou-se que o segundo pacote de manutenção apresentou menor custo porém maior risco.

Tabela 11 – Tabela com o resumo da análise dos casos 1, 2, 3, 4 e 5

Parâmetros variáveis	Pacotes	ODC	RDC	ReDC	TC
Sem variação	125	0	204.038	154.000	358.038
Caso 1: Custo da dimensão produção de 8760 horas	sem manutenção	0	485.605	0	485.605
Caso 2: Custo da dimensão produção de 8000 horas	25	0	344.856	84.000	428.856
Caso 3: Custo da parada de manutenção é 10 vezes mais caro (\$ 2.4 milhões)	1235	0	636.703	216.000	852.703
Caso 4: Custo da parada de manutenção é 10 vezes mais caro (\$ 2.4 milhões) e custo da dimensão produção de 8000 horas	125	440.000	909.501	154.000	1.503.502
Caso 5: Custo da parada de manutenção é 10 vezes mais caro (\$ 2.4 milhões) e custo da dimensão produção de 8760 horas	2	300.00	1.883.982	38.000	2.221.982

Percebe-se que um dos pontos fracos do trabalho é a necessidade de uma base de dados com informações de ativos físicos e de atividades de manutenção. A obtenção dessa base de dados é a primeira parte do *framework* proposto, ou seja, todas as outras partes ficam dependentes dessas informações que são bastante técnicas e de difícil acesso.

Outro ponto que deve ser destacado é que o trabalho não apresenta a priorização propriamente dita. Em vez disso, foi feito apenas um ranqueamento dos critérios em ordem decrescente, consequentemente nenhum método MCDM foi utilizado para executar a priorização.

A maintenance prioritisation approach to maximise return on investment subject to time and budget constraints

O trabalho de Tam e Price (2008b) tem como objetivo desenvolver um mecanismo para priorizar as atividades de manutenção de forma a maximizar o retorno do investimento sob restrições de orçamento e tempo. Para alcançar esse objetivo o trabalho propõe um *framework* chamado Tam and Price Maintenance Prioritisation Framework (TPMPF) baseado no trabalho de Tam e Price (2008a) porém, que utiliza três índices, investimento na manutenção, tempo e orçamento, para servir como os critérios da priorização.

O *framework* proposto é composto das mesmas partes do *framework* do trabalho Tam e Price (2008a), acrescentando após as dimensões produção, risco e recurso os índices investimento na manutenção, tempo e orçamento. O trabalho não explica todos os passos do *framework*, em vez disso ele faz referência ao trabalho de Tam e Price (2008a) e foca em explicar a finalidade, onde são aplicados e os cálculos que precisam ser realizados com os índices. A Figura 9 apresenta o *framework* proposto. Importante observar que todas as partes estão relacionadas, ou seja, a saída gerada na parte anterior é utilizada como entrada para a próxima parte.

O primeiro índice, investimento na manutenção, visa quantificar como as atividades de manutenção podem gerar retorno em relação a diminuição do custo da dimensão risco sobre o valor financeiro despendido com recursos para apoiar a execução da manutenção. O retorno na manutenção é definido como a diminuição do custo da dimensão risco em um período de tempo estabelecido. Por outro lado, o gasto com as atividades de manutenção refere-se ao custo dos recursos somado com o custo da dimensão produção, esta última idealmente deveria ser zero a menos que esse custo possa ser justificável por meio de uma grande diminuição do custo da dimensão risco. É possível entender a priorização das atividades de manutenção como um problema de otimização onde a função de *fitness* deverá considerar as fórmulas 2.4, 2.5, 2.6 e 2.7.

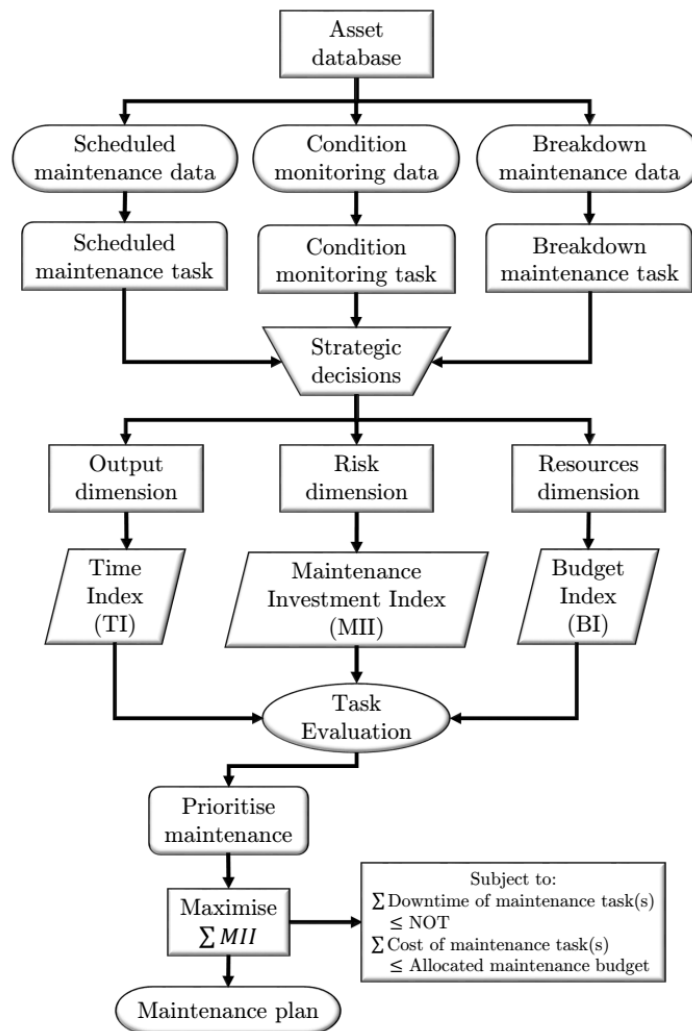
$$MII = \frac{Retorno_manutencao}{Perda_producao + Despesa_manutencao} = \frac{\Delta RDC}{ODC + ReDC} \quad (2.4)$$

$$\sum_K MII_K \quad (2.5)$$

$$\sum_K ReDC_K \leq B \quad (2.6)$$

$$\begin{aligned} ¶ ODC \rightarrow 0 \\ &\sum_K MDT_K \leq NOT \end{aligned} \quad (2.7)$$

Figura 9 – *Framework* TPMPF



Fonte: Adaptado de (TAM; PRICE, 2008b)

O segundo índice, tempo, foca na quantidade de tempo que será necessário para finalizar as atividades de manutenção sobre o tempo alocado pela organização para a parada de manutenção. Através desse índice é possível comparar o tempo para concluir uma determinada atividade de manutenção em relação ao tempo que é preciso para as outras

atividades. É possível calcular esse índice através do somatório do tempo que será necessário para finalizar todas as atividades de manutenção dividido pelo tempo alocado pela organização para a parada de manutenção, conforme mostra a fórmula 4.33 a seguir.

$$TI = \frac{\sum_K MDT_K}{NOT} \quad (2.8)$$

O terceiro e último índice, orçamento, diz respeito ao custo monetário que será necessário para executar as atividades de manutenção sobre a quantia financeira alocada pela organização para a parada de manutenção. O custo para executar as atividades de manutenção é de natureza bastante diversa, ou seja, vai desde preço de transporte, peças de reposição e ferramentas, até o valor da hora do especialista. É possível calcular esse índice através da divisão entre o custo da dimensão recurso pelo orçamento alocado pela organização para a parada de manutenção, conforme mostra a fórmula 4.32 a seguir.

$$BI = \frac{ReDC}{B} \quad (2.9)$$

Logo após as atividades de manutenção são avaliadas para em seguida a priorização ser executada. Esta é estruturada com os índices investimento na manutenção, tempo e orçamento como critérios e os pacotes de manutenção como alternativas. Os pacotes são formados da mesma forma que o trabalho de Tam e Price (2008a), ou seja, por atividades de manutenção, no qual cada pacote corresponde a um agrupamento de diferentes atividades de manutenção que precisam ser realizadas em um determinado componente do ativo.

Para todas as atividades de manutenção os índices serão calculados e ranqueados. O índice investimento na manutenção é ranqueado em ordem decrescente, ou seja, do maior pro menor, já o índice tempo e orçamento é ao contrário em ordem crescente, do menor para o maior. Quanto maior o índice investimento na manutenção maior o retorno financeiro gerado pela manutenção consequentemente, maior o custo-benefício. E, quanto menor os índices tempo e orçamento menor o consumo de tempo e o custo. O ranqueamento final é obtido através da média dos três índices.

As etapas do *framework* proposto por esse trabalho podem ser resumidas da seguinte forma:

1. Obtenção dos dados dos ativos físicos que são utilizados pela organização;
2. Análise dos dados para estabelecer quais são as atividades de manutenção que precisam ser realizadas e a organização destas nos pacotes de manutenção;
3. Definição das decisões estratégicas que são realizadas, geralmente, pelo gestor de ativos alinhando vários fatores, tais como, resultados esperados pela empresa, riscos aceitáveis, tempo e orçamento disponível;
4. Cálculo dos índices investimento na manutenção, tempo e orçamento;

5. Execução da priorização dos pacotes de manutenção utilizando os índices como critérios com o objetivo de verificar o máximo de retorno financeiro que um determinado arranjo de atividades de manutenção pode gerar;
6. Investigação das atividades de manutenção que irão compor o horizonte de planejamento para serem realizadas na próxima parada de manutenção de acordo com a colocação das atividades no ranqueamento.

A fim de validar o *framework* proposto o trabalho utiliza um exemplo numérico de um sistema com cinco componentes em série. As atividades de manutenção foram agrupadas em cinco pacotes de manutenção. Algumas características são comuns para toda a priorização, tais como, distribuição de *Weibull*, parada de manutenção com duração de 1.000 horas, valor da hora do especialista é de \$100 e idade corrente do sistema é 10.000 horas.

O exemplo numérico considera três cenários hipotéticos, um com restrição de orçamento, outro com restrição de tempo e, o último com restrição de orçamento e tempo. O primeiro cenário, restrição de orçamento, supõe que o orçamento alocado pela organização durante todo um ano é de \$ 250.000 e essa quantia não será o suficiente para executar todos os pacotes de manutenção na mesma parada de manutenção. Assim, o arranjo dos pacotes que mais se aproxima do valor disponibilizado para o orçamento seria com a execução dos pacotes um, dois e cinco pois, juntos eles somam \$ 240.000 de despesas. Importante destacar que, 1) este cenário utiliza os valores disponibilizados na Tabela IV do trabalho de Tam e Price (2008b) e, 2) o pacote um é preferido em vez do pacote quatro pelo fato do pacote um ter o índice investimento na manutenção maior do que o pacote quatro.

O segundo cenário, restrição de tempo, supõe que o tempo alocado pela organização durante a parada de manutenção é de 1.000, ou seja, aproximadamente 42 dias e essa quantidade não será o suficiente para executar todos os pacotes de manutenção na mesma parada de manutenção. Portanto, o arranjo dos pacotes que mais se aproxima da quantidade disponibilizada para o tempo seria com a execução dos pacotes dois, quatro e cinco pois, juntos eles somam exatamente 1.000 horas. Vale salientar que, 1) este cenário utiliza os valores disponibilizados na Tabela V do trabalho de Tam e Price (2008b) e, 2) o pacote dois é preferido em vez do pacote um pelo fato do pacote um ter o índice investimento na manutenção maior do que o pacote um.

O terceiro cenário, restrição de orçamento e tempo, é uma junção de limitações no qual o orçamento disponibilizado pela organização de \$ 200.000 e tempo alocado para a parada de manutenção de 850 horas. Dessa forma, o arranjo dos pacotes que mais se aproxima da quantidade disponibilizada para o orçamento e tempo seria com a execução dos pacotes dois, quatro e cinco pois, juntos eles somam exatamente \$ 200.000 de despesas e 850 horas. Vale salientar que este cenário utiliza os valores disponibilizados na Tabela III do trabalho de Tam e Price (2008b).

Como dito anteriormente, ao todo são cinco pacotes de manutenção e o gestor de ativos poderá escolher entre realizar um, dois, três, quatro ou todos os pacotes em uma parada de manutenção dependendo do cenário que ele julgar mais adequado para o seu contexto. Importante ressaltar que a combinação dos pacotes gera 32 arranjos possíveis. A Tabela 12 mostra as combinações dos pacotes de manutenção, o valor calculado de cada índice juntamente com o ranqueamento deles e a ordenação final da priorização.

Tabela 12 – Ranqueamento dos pacotes de manutenção

Pacotes	MII	BI	TI	Rank MII	Rank BI	Rank TI	Média Rank	Rank Final
1	0,34	0,55	0,71	28	4	7	13	10
2	0,56	0,25	0,18	24	1	1	8,67	2
3	0,06	0,55	0,59	30	4	5	13	10
4	0,06	0,35	0,47	31	2	3	12	7
5	0,57	0,40	0,35	23	3	2	9,33	3
12	0,90	0,80	0,88	16	9	10	11,67	6
13	40	1,10	1,29	26	16	19	20,33	26
14	0,39	0,90	1,18	27	11	16	18	19
15	0,90	0,95	1,06	15	13	13	13,67	14
23	0,63	0,80	0,76	0,20	9	8	12,33	8
24	0,62	0,60	0,65	22	6	6	11,33	4
25	1,13	0,65	0,53	8	7	4	6,33	1
34	0,12	0,90	1,06	29	11	13	17,67	18
35	0,63	0,95	0,94	19	13	11	14,33	15
45	0,62	0,75	0,82	21	8	9	12,67	9
123	0,96	1,35	1,47	12	23	22	19	22
124	0,96	1,15	1,35	14	17	20	17	16
125	1,47	1,20	1,24	4	19	17	13,33	12
134	0,46	1,45	1,76	25	24	27	25,33	31
135	0,97	1,50	1,65	11	25	25	20,33	26
145	0,96	1,30	1,53	13	21	23	19	22
234	0,68	1,15	1,24	18	17	17	17,33	17
235	1,19	1,20	1,12	6	19	15	13,33	12

245	1,19	1	1	7	15	12	11,33	4
345	0,69	1,30	1,41	17	21	21	19,67	24
1234	1,02	1,70	1,94	10	28	29	22,33	29
1235	1,53	1,75	1,82	2	29	28	19,67	24
1345	1,02	1,85	2,12	9	30	30	23	30
2345	1,25	1,55	1,59	5	26	24	18,33	20
1245	1,52	1,55	1,71	3	26	26	18,33	20
12345	1,59	2,10	2,29	1	31	31	21	28

Fonte: (TAM; PRICE, 2008b)

Vale ressaltar que este trabalho teve como base o trabalho anterior, (TAM; PRICE, 2008a), dos mesmos autores, a diferença está no fato do segundo incluir os índices investimento na manutenção, tempo e orçamento no cálculo e na priorização das atividades de manutenção, além das dimensões produção, risco e recurso, ou seja, é importante destacar que os três índices não vão substituir as três dimensões e, sim complementá-las para executar uma priorização mais refinada.

Constata-se que um dos pontos fracos do trabalho é quantidade de comparações e cálculos que precisam ser feitos, devido a isso os próprios autores do trabalho recomendam a utilização de algum procedimento de programação dinâmica. Acredita-se que o uso de algoritmo de otimização seria mais adequado pois, este iria procurar a solução ótima de acordo com a implementação feita na função de *fitness*.

Outro ponto relevante é que o trabalho visivelmente enfatiza que as atividade de manutenção menos prioritárias serão incluídas no próximo horizonte de planejamento para serem executadas na próxima parada de manutenção.

An Asset Investment Decision Framework to Prioritise Shutdown Maintenance Tasks

O trabalho de Swart (2015) mostra uma proposta de um *framework* chamado SMPF com o objetivo de priorizar as atividades de manutenção de um ativo físico que serão realizadas durante uma parada de manutenção. Importante destacar que a priorização deve considerar cenários com restrições de orçamento e/ou tempo e possui como objetivo o retorno do investimento. Além disso, este trabalho é baseado na pesquisa de Tam e Price (2008b) e, consequentemente na de Tam e Price (2008a) também.

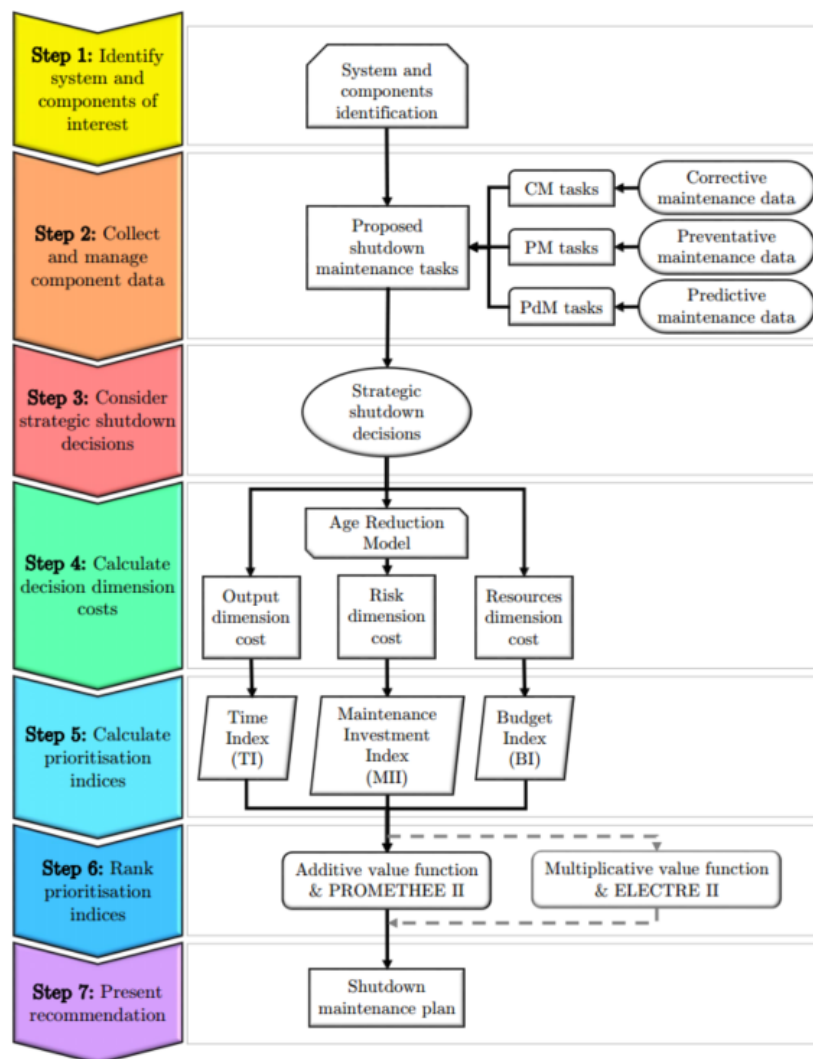
O *framework* proposto é composto de sete passos, são eles:

- Passo 1 - Identifique o sistema de interesse e seus componentes;
- Passo 2 - Colete e gerencie os dados dos componentes;

- Passo 3 - Considere as decisões estratégicas da parada de manutenção;
- Passo 4 - Calcule os custos das dimensões de decisão;
- Passo 5 - Calcule os índices da priorização;
- Passo 6 - Ordene os índices da priorização;
- Passo 7 - Apresente a recomendação.

Todos os passos, o objetivo, a aplicação e os cálculos que devem ser realizados em cada passo são explicados ao longo do trabalho. A Figura 10 apresenta o *framework* proposto. Vale salientar que todos os passos estão relacionados, ou seja, a saída gerada no passo anterior é utilizada como entrada para o próximo passo.

Figura 10 – *Framework* SMPF



Fonte: (SWART, 2015)

Considerando que o *framework* proposto é direcionado para ativos físicos multicomponentes então, o primeiro passo diz respeito à identificação do sistema de interesse e seus

componentes. Essa identificação pode ocorrer de diversas formas, entre elas através da aquisição ou desenvolvimento de um Reliability Block Diagrams (RBD) ou diagrama de blocos. Um ponto importante está no fato do autor do trabalho enfatizar a necessidade da delimitação do escopo do sistema a fim de estabelecer claramente a divisão entre o sistema selecionado e seus componentes de todo resto do ativo que ficará nas imediações e não entrará na priorização.

O segundo passo está relacionado à coleta e gerenciamento dos dados dos componentes do sistema selecionado no passo anterior. A coleta dos dados poderá ser feita por meio de diversas fontes, como por exemplo, através de uma ferramenta Extract Transform Load (ETL), integração com sistemas de retaguarda, dispositivos Internet of Things (IoT), sistemas supervisórios, de informação, banco de dados, etc. Já o gerenciamento dos dados dos componentes refere-se a investigar os dados coletados a fim de identificar possíveis situações de avaria ou falha iminente e, a partir desse momento propor as atividades de manutenção (corretiva, preventiva e preditiva) necessárias para conservar ou restaurar o ativo.

O terceiro passo corresponde a definição das decisões estratégicas da parada de manutenção, ou seja, esse passo diz respeito à determinar quais serão as informações consideradas táticas para o planejamento e execução da priorização. Alguns exemplos de decisões estratégicas são, custo de indisponibilidade planejada e não planejada do sistema, início do horizonte de planejamento, tempo e orçamento da manutenção, entre outros.

O quarto passo diz respeito ao cálculo dos custos das dimensões produção, risco e recurso e, do modelo de redução da idade. O cálculo do custo da dimensão risco antes da manutenção está relacionado a multiplicação da probabilidade de falha iminente antes da manutenção pelo custo da consequência de falha. Em contrapartida, o cálculo do custo da dimensão risco depois da manutenção refere-se a multiplicação da probabilidade de falha iminente depois da manutenção pelo custo da consequência de falha. Já o cálculo do custo da dimensão recurso diz respeito ao somatório do custo fixo e variável com o tempo de inatividade. Por outro lado, o cálculo do custo da dimensão produção corresponde à divisão entre a diferença da dimensão Risco antes e depois da manutenção e, o somatório entre a dimensão produção e recurso. E, por fim, para calcular o modelo de redução da idade é preciso também calcular o fator de redução de idade, a constante característica e a vida média residual. Todos os cálculos para obter os valores do modelo de redução da idade e das dimensões são realizados através das fórmulas descritas na Tabela 13.

Tabela 13 – Fórmulas do passo 4 do *framework* SMPF

Descrição	Fórmula
Dimensão produção	$ODC = (DT - AST).C_{sys}^P$
Dimensão recurso	$ReDC = C_f + DT.C_v$

Probabilidade de falha antes da manutenção	$h(A_{ij}) = \frac{\beta}{\lambda} \cdot \left(\frac{A_{ij}}{\lambda}\right)^{\beta-1}$
Consequência caso o ativo venha a falhar	$C_{conseq} = (DT.C_{sys}^P) + (C_f + DT.C_v)$
Dimensão risco antes da manutenção	$RDC_{BM} = h(A_{ij}).C_{conseq}$
Vida média residual	$MRL = \frac{\int_{A_{ij}}^{\infty} R(x)dx}{R(A_{ij})}$
Constante característica	$m(A_{ij}) = \frac{A_{ij}}{MRL}$
Fator de redução de idade	$b(I_{ij}) = 1 - \left(\frac{C_{ij}(I_{ij})}{C_{ij}^R}\right)^{m(A_{ij})}$
Idade efetiva	$t_{ij} = b_{ij}.A_{ij}$
Probabilidade de falha depois da manutenção	$h(t_{ij}) = \frac{\beta}{\lambda} \cdot \left(\frac{t_{ij}}{\lambda}\right)^{\beta-1}$
Dimensão risco depois da manutenção	$RDC_{AM} = h(t_{ij}).C_{conseq}$

Fonte: Baseado em (SWART, 2015)

O quinto passo refere-se ao cálculo dos índices investimento na manutenção, orçamento e tempo. O cálculo do índice investimento na manutenção está relacionado à divisão entre a diferença da dimensão Risco antes e depois da manutenção e, o somatório entre a dimensão produção e recurso. Já o cálculo do índice orçamento diz respeito à divisão da dimensão Recurso pelos diferença entre o orçamento planejado para a manutenção e orçamento extra da manutenção. E, por fim, o cálculo do índice tempo corresponde a divisão do tempo de indisponibilidade pelos diferença entre o tempo planejado para a manutenção e tempo extra da manutenção. Todos os cálculos para obter os valores dos índices são realizados através das fórmulas descritas na Tabela 14 a seguir.

Tabela 14 – Fórmulas do passo 5 do *framework* SMPF

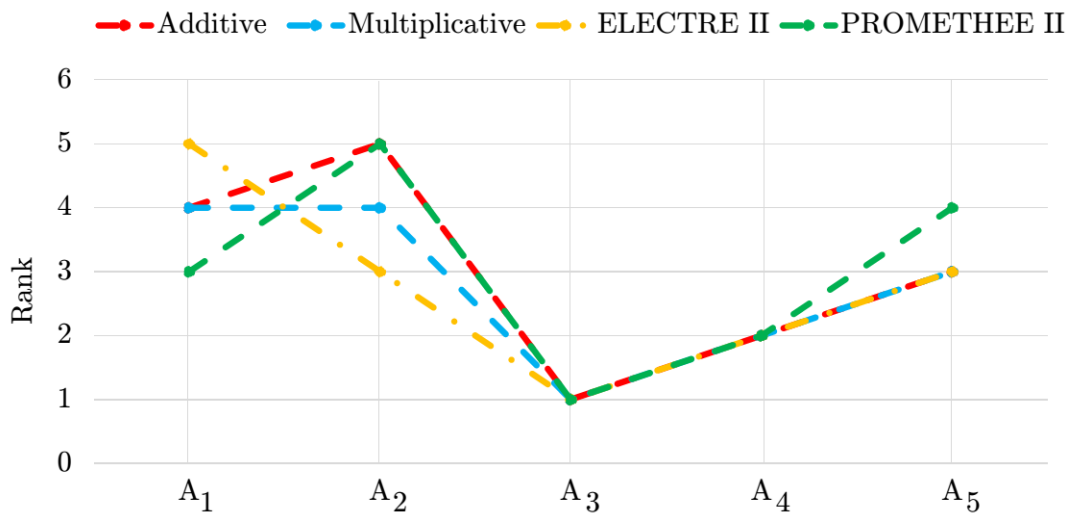
Descrição	Fórmula
Índice investimento na manutenção	$MII = \frac{RDC_{BM} - RDC_{AM}}{ODC + ReDC}$
Índice orçamento	$BI = \frac{ReDC}{SB - BF}$
Índice tempo	$TI = \frac{DT}{AST - TF}$

Fonte: Baseado em (SWART, 2015)

O sexto passo condiz com a execução da priorização e ranqueamento dos pacotes de manutenção. A priorização é estruturada com os índices como critérios e os pacotes de manutenção como alternativas. Os pacotes são formados por atividades de manutenção, cada pacote corresponde a um agrupamento de diferentes atividades de manutenção que precisam ser realizadas em um determinado componente do ativo. Diferentemente do trabalho de Tam e Price (2008b), neste trabalho a priorização utiliza os MCDM função de valor aditiva e multiplicativa, ELECTRE e PROMETHEE. Além disso, o peso do índice investimento na manutenção é maior comparado ao peso dos índices tempo e orçamento.

O sétimo e último passo corresponde uma análise comparativa dos MCDM utilizados na priorização para posteriormente definir quais atividades de manutenção irão compor a próxima parada de manutenção. A Figura 11 apresenta uma demonstração de comparação gráfica nos qual o eixo x corresponde as alternativas da priorização e o eixo y diz respeito ao ranqueamento. As linhas coloridas referem-se aos MCDM usados e os pontos de cruzamento dos eixos indicam os valores obtidos no ranqueamento por cada uma das alternativas. Na Figura 11 é possível visualizar que o primeiro e segundo lugar na priorização pertencem as alternativas A_3 e A_4 , respectivamente, de acordo com os quatro MCDM. Já o terceiro, quarto e quinto lugar da priorização tiveram resultados diferentes conforme o método utilizado.

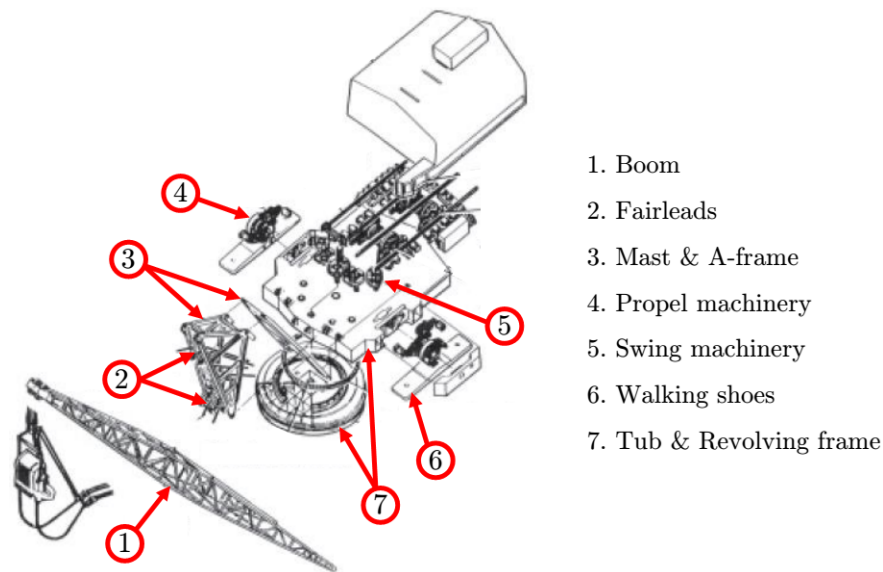
Figura 11 – Análise comparativa dos MCDM



Fonte: Adaptado de (SWART, 2015)

Com o intuito de validar o *framework* proposto o trabalho o aplica em um estudo de caso do mundo real através de uma indústria de mineração de carvão localizada no sul da África. A escolha dessa indústria de mineração ocorreu devido a necessidade de utilizar os ativos da empresa como um diferencial competitivo a fim de obter um maior retorno financeiro com a menor quantidade de despesas possíveis. E, o ativo escolhido foi uma escavadeira BE 1570W, que foi selecionado por ser de fundamental importância para a extração do carvão e, conseqüentemente, para o funcionamento da organização. Assim, para iniciar o passo 1 do *framework* SMPF, verificou-se que a escavadeira é formada por uma variedade de sistemas e componentes, como ilustra a Figura 12 porém, o sistema escolhido foi *Dragline-B*.

Figura 12 – Exemplo de escavadeira utilizada no estudo de caso



Fonte: (SWART, 2015)

Para executar o passo 2 alguns dados foram obtidos através de um relatório interno da Anglo Coal South Africa (ACSA) outros foram conjecturados pelos gestores de ativos. No final deste passo obtiveram sete pacotes de manutenção diferentes gerando 127 combinações possíveis.

No passo 3 foram definidas as seguintes decisões estratégicas: tempo e orçamento alocado para a parada de manutenção são de 23 dias (552 horas) e 2.160.805 ZAR (moeda sul-africana). Além disso, optou-se por estabelecer três cenários de manutenção, um com restrição de tempo, outro com restrição de orçamento e, por fim o último com restrição de tempo e orçamento conforme mostra a Tabela 15. Esta tabela também mostra os efeitos gerados em cada cenário.

Tabela 15 – Cenários do estudo de caso

Cenário	Efeito sobre o tempo	Efeito sobre o orçamento
Restrição de tempo	diminui em 5 dias	continua o mesmo
Restrição de orçamento	continua o mesmo	diminui em 10%
Restrição de tempo e orçamento (cenário pessimista)	diminui em 5 dias	diminui em 10%

Fonte: (SWART, 2015)

No passo 4 foram realizados os cálculos dos custos das dimensões produção, risco e recurso e, do modelo de redução da idade de acordo com os cenários estabelecidos no passo anterior. A Tabela 16 exemplifica os cálculos realizados neste passo assim como a Tabela 17 mostra os três cenários juntamente com os valores definidos nas decisões

estratégicas. Importante destacar que as Tabela 16 e 17 demonstram os cálculos para diferentes pacotes de manutenção pois, o autor do trabalho não apresentou os cálculos para um mesmo pacote, tampouco para todos os pacotes.

Tabela 16 – Aplicação do passo 4 no estudo de caso

Descrição	Fórmula
Dimensão produção	$ODC_{12} = (456 - 432).180.000 = 4.320.000$
Dimensão recurso	$ReDC_{34} = 84.942 + 163.968 + 134.033 + 258.730 = 641.673$
Probabilidade de falha antes da manutenção	$h(x) = \frac{1.726}{66.462} \cdot \left(\frac{70.771}{66.462}\right)^{1.726-1} = 2.718E - 05$
Consequência caso o ativo venha a falhar	$C_{conseq} = (1344*180.000) + (33.632 + 64.921) = 243.120.750$
Dimensão risco antes da manutenção	$RDC_{BM} = 2.718E - 05 * 243.120.750 = 6.608$
Vida média residual	$MRL = \frac{\int_{70.771}^{\infty} R(x)dx}{R(70.771)} = \frac{9.690}{0.328} = 29.536$
Constante característica	$m(70.771) = \frac{70.771}{29.536} = 2.396$
Fator de redução de idade	$b(I_{ij}) = 1 - \left(\frac{98.553}{1.200.750}\right)^{2.396} = 0.9975$
Idade efetiva	$t = 0.9975 * 70.771 = 70.594$
Probabilidade de falha depois da manutenção	$h(70.594) = \frac{1.726}{66.462} \cdot \left(\frac{70.594}{66.462}\right)^{1.726-1} = 3.130E - 06$
Dimensão risco depois da manutenção	$RDC_{AM} = 3.130E - 06 * 243.120.750 = 761$

Fonte: Baseado em (SWART, 2015)

Tabela 17 – Cenários do estudo de caso

Cenário	Efeito sobre o tempo	Efeito sobre o orçamento
Restrição de tempo	$552 - 120 = 432$	2.160.805
Restrição de orçamento	552	$2.160.805 - 10\% = 1.944.725$
Restrição de tempo e orçamento (cenário pessimista)	$552 - 120 = 432$	$2.160.805 - 10\% = 1.944.725$

Fonte: (SWART, 2015)

No passo 5 foram realizados os cálculos dos índices investimento na manutenção, orçamento e tempo. O trabalho mostrou apenas alguns dos índices calculados para o cenário de restrição de tempo e orçamento, ou seja, cenário pessimista. A Tabela 18 apresenta os resultados obtidos.

Tabela 18 – Índices do estudo de caso no cenário pessimista

Pacotes de manutenção	MII	TI	BI
MP1	3.84E-03	1.118	0.424
MP2	2.50E-02	0.765	0.074
...	...	...	...
MP12	0.004	1.118	0.436
MP13	0.005	1.118	0.559
...	...	...	...
MP123	0.006	1.118	0.570
MP124	0.005	1.118	0.648
...	...	...	...
MP1234	0.006	1.118	0.783
MP1235	0.008	1.118	0.679
...	...	...	...
MP12345	0.007	1.118	0.891
MP12346	0.007	1.118	0.881
...	...	...	...
MP123456	0.008	1.118	0.989
MP123457	0.007	1.118	1.072
...	...	...	...
MP1234567	0.008	1.118	1.170

Fonte: (SWART, 2015)

No sexto passo a priorização dos pacotes de manutenção foi executada através dos MCDM função de valor aditiva e PROMETHEE função de valor multiplicativa e ELECTRE, utilizando os índices investimento na manutenção, orçamento e tempo como critérios. O peso atribuído a cada índice é exibido na Tabela 19.

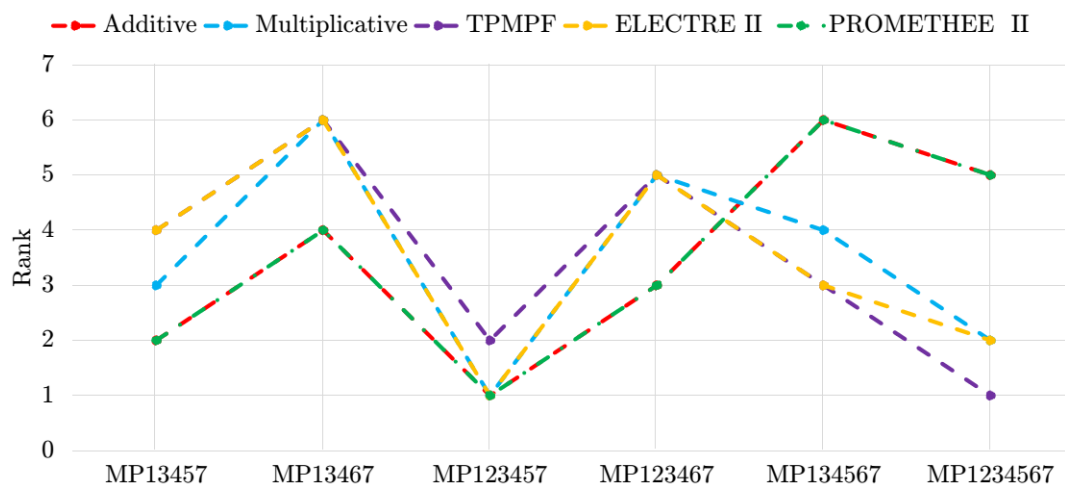
Tabela 19 – Peso atribuído a cada índice

	W_{MII}	W_{TI}	W_{BI}
Peso dos índices	0.333	0.333	0.333

Fonte: (SWART, 2015)

No sétimo e último passo é apresentado o ranqueamento com o resultado obtidos da priorização realizado pelos MCDM no passo anterior. Na Figura 11 é possível visualizar que o primeiro lugar na priorização pertence ao pacote de manutenção MP123457 pois, o quatro MCDM indicam isso. O único mecanismo que divergiu foi o *framework* TPMPF, correspondente a linha roxa, que aponta o pacote de manutenção MP1234567 como primeiro lugar. Importante destacar que a única diferença entre esse dois pacotes é o MP6. A Tabela 11 exhibe os índices de cada pacote e, o tempo e o orçamento alocado considerando os efeitos gerados pela restrição de tempo e orçamento (cenário pessimista).

Figura 13 – Análise comparativa dos MCDM do estudo de caso



Fonte: Adaptado de (SWART, 2015)

Vale salientar que este trabalho teve como base as pesquisas de Tam e Price (2008b) e, consequentemente Tam e Price (2008a) também. A diferença está no fato deste trabalho direcionar o *framework* para paradas de manutenção e utilizar MCDM para executar a priorização.

Como na pesquisa de Tam e Price (2008b), este trabalho também possui como ponto fraco a quantidade de comparações e cálculos que precisam ser realizados. Da mesma forma que na pesquisa supracitada, neste trabalho também acredita-se que o uso de algoritmo de otimização seria bastante oportuno.

Constata-se que este trabalho não identifica quais passos são obrigatórios e quais são opcionais, o mesmo raciocínio se aplica para os passos manuais e automáticos, de planejamento e de execução da priorização, o papel que cada ator deve desempenhar

inclusive, as formas geométricas e as cores utilizadas não tem legenda nem justificativa ao longo da pesquisa.

Outro ponto relevante é que o trabalho não usa nenhum mecanismo para auxiliar na incerteza, imprecisão e subjetividade associada a utilização de MCDM. Tão pouco usa alguma abordagem para analisar a dependência existente entre os sistemas e componentes de um ativo inclusive, a dependência econômica. E, por fim, o agrupamento das atividades de manutenção em pacotes de manutenção é feita utilizando como critério em qual componente a atividade de manutenção irá atuar, sem se preocupar se de fato essa é a forma mais otimizada de realizar o agrupamento.

2.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo, foram detalhadas as três áreas que englobam essa pesquisa (análise multicritério de apoio à decisão, inteligência artificial e gestão de ativos) através de definições, categorias, aplicações e exemplos. Também foram apresentados os conceitos relacionados especificamente a ativo, sistema de gestão de ativos e áreas de competência. Foi mostrado um exemplo da utilização da técnica de tomada de decisão multicritério AHP e também foram exibidas as diferenças entre as tecnologias de inteligência artificial.

Por fim, os trabalhos relacionados incluídos neste capítulo foram selecionados por contribuírem substancialmente com a priorização das atividades de manutenção e, pelo fato de se destacarem no *snowballing* realizado durante a RSL que será apresentada no Capítulo 3.

Ao analisar, minuciosamente, cada passo que constitui os trabalhos relacionados foram identificadas lacunas demasiadamente graves pois, em decorrência delas aspectos imprescindíveis estavam sendo negligenciados. Em decorrência disso, durante a definição do processo proposto, SMIPP (Shutdown Maintenance Intelligent Prioritisation Process), que será apresentado no Capítulo 4, optou-se por suprir essas lacunas através do:

- Agrupamento de atividades de manutenção por meio da clusterização com o algoritmo *k-means*;
- Análise da dependência econômica fazendo uso do algoritmo de otimização AG;
- Gerenciamento do problema do *ranking* reverso, incerteza e subjetividade na comparação em pares mediante aplicação método MCDM AHP juntamente com a lógica *fuzzy*, ou seja, FAHP.

3 REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

Este capítulo tem como objetivo apresentar a motivação da revisão sistemática da literatura, metodologia da revisão, assim como exibir os resultados gerados e as conclusões obtidas.

3.1 MOTIVAÇÃO DA RSL

Nesta RSL buscou-se fazer um diagnóstico do estado da arte para construir uma base de conhecimento sobre a priorização inteligente na gestão de ativos. Portanto, como procedimento metodológico foi utilizada a RSL definida por (KITCHENHAM; CHARTERS, 2007) e suas atualizações (KITCHENHAM; BRERETON, 2013) e (MALHOTRA, 2016) e suas atualizações (MALHOTRA, 2019). Com isso foi possível identificar, avaliar e sintetizar os estudos incluídos, respondendo às perguntas de pesquisa sobre como a priorização inteligente é aplicada na área de gestão de ativos. Esse tipo de procedimento já foi usado em diferentes estudos relacionados a gestão de ativos, como por exemplo, gestão de ativo inteligentes (NEL; JOOSTE, 2016).

Desse modo, essa RSL busca reunir informações sobre estudos publicados na língua inglesa e portuguesa, assim como o ano de publicação, contexto de aplicação, local de desenvolvimento do estudo e fonte de publicação. Além disso, também será respondida a questão principal de pesquisa e as questões secundárias.

3.2 METODOLOGIA DA REVISÃO

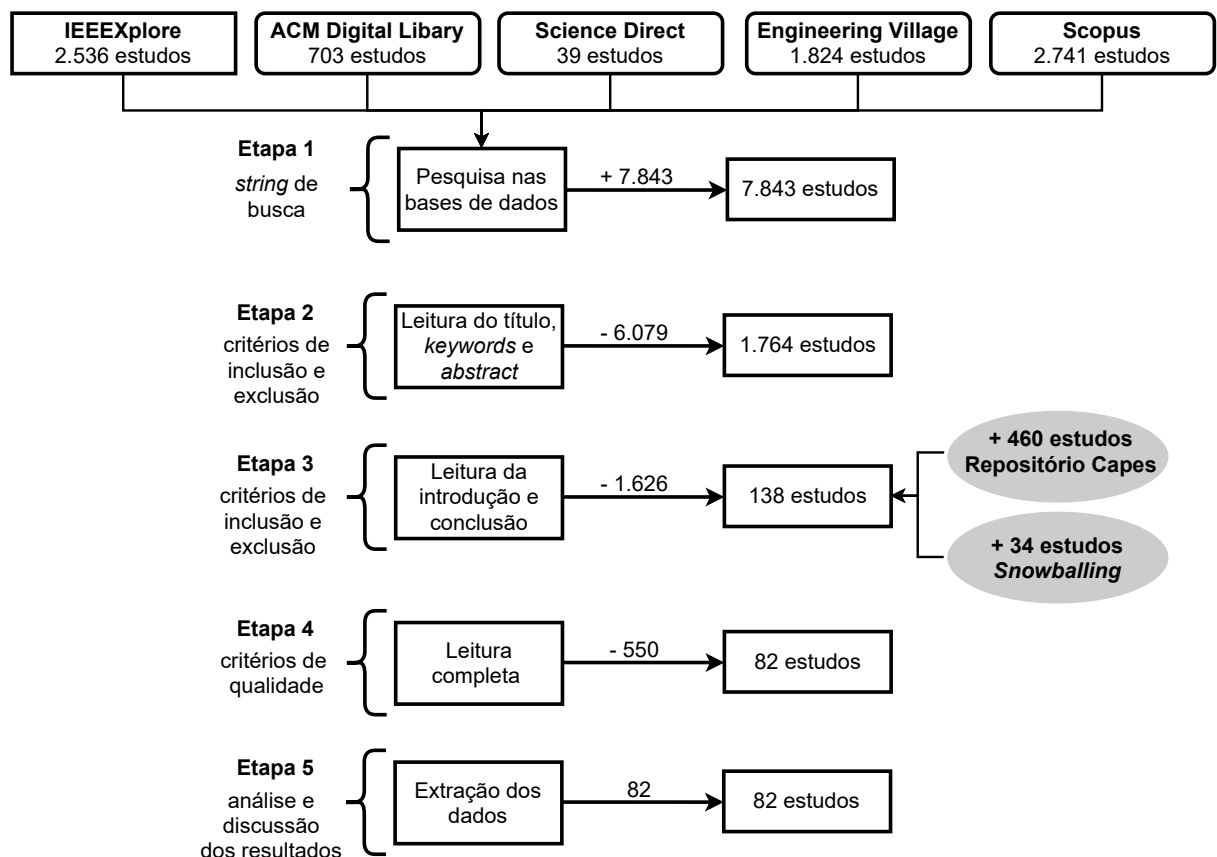
Trata-se de uma RSL que tem por finalidade proporcionar mais informações sobre a priorização inteligente na área da gestão de ativos. Para a condução dessa revisão, adotou-se um rigoroso processo de busca pois, esse é um fator que a distingue uma RSL de outros tipos de revisões. Foram seguidas as diretrizes amplamente definidas por (KITCHENHAM; CHARTERS, 2007) e suas atualizações (KITCHENHAM; BRERETON, 2013) e (MALHOTRA, 2016) e suas atualizações (MALHOTRA, 2019). O processo de busca, seleção e análise dos estudos foi realizado em 5 etapas distintas:

- **Etapla 1 (Seleção preliminar):** Definição da questão de pesquisa principal e das secundárias, escolha das fontes de pesquisa, execução da *string* de busca e pesquisa nas bases de dados;
- **Etapla 2 (Primeira Seleção):** Leitura dos títulos, palavras-chave e *abstracts*. Foram excluídos os estudos que não se adequaram ao contexto dessa RSL, considerando os critérios de inclusão e exclusão;

- **Etapa 3 (Segunda Seleção):** Leitura da introdução e conclusão. Assim como na etapa 2 nesta etapa também foram excluídos os estudos que não se adequaram ao contexto dessa RSL, considerando os critérios de inclusão e exclusão;
- **Etapa 4 (Seleção Final):** Leitura na íntegra dos estudos potencialmente relevantes, considerando os critérios de qualidade. Os trabalhos que não atingiram a nota mínima foram excluídos;
- **Etapa 5 (Extração dos dados e Discussão dos Resultados):** Verificação das informações relevantes de cada estudo primário selecionado nas etapas anteriores para análise e discussão dos resultados obtidos.

A Figura 14 apresenta todas as etapas desta revisão sistemática, com uma breve descrição das atividades executadas em cada uma delas, todas as bibliotecas digitais que foram utilizadas com o número de estudos retornados em cada biblioteca, a quantidade de estudos que foram incluídos e excluídos em cada etapa, bem como o motivo da remoção dos estudos em cada uma das etapas.

Figura 14 – Resumo da RSL



Fonte: A autora

Os participantes dessa RSL optaram por realizar uma análise das referências citadas nos estudos selecionados até o momento, ou seja, executar *snowballing*. Tomou-se essa decisão pelo fato dos trabalhos identificados na RSL não trazerem abordagens que detalhassem as etapas da priorização inteligente na gestão de ativos.

Ademais, os participantes também optaram por incluir mais uma biblioteca digital, o repositório de dissertações e teses da Capes, pois, 1) existem situações em que a pesquisa não produz publicações a respeito do resultado final gerado mas, a dissertação ou tese está diretamente ligada ao contexto desta pesquisa e, 2) a maioria dos estudos tiveram como local de desenvolvimento o Brasil portanto, uma estratégia para aprofundar o conhecimento nesse campo de pesquisa seria investigar a publicação de dissertações e teses das universidades daquele país.

Destaca-se que os participantes desta RSL são: uma aluna de pós-graduação no nível de doutorado, responsável pela elaboração e execução da revisão e dois professores doutores, responsáveis pela análise e supervisão de cada uma das etapas da RSL.

Questões de Pesquisa

Nesta RSL busca-se realizar um diagnóstico para se construir uma base de conhecimento sobre como a priorização inteligente na gestão dos ativos de infraestrutura é realizada. Assim, a intenção dessa RSL é responder a principal questão de pesquisa:

Como a priorização inteligente é aplicada na área de gestão de ativos?

Baseada nesta questão principal outras dez questões de pesquisa secundárias foram definidas e estão detalhadas na Tabela 20, com suas respectivas descrições e motivações.

Tabela 20 – Questões de Pesquisa

Questões de Pesquisa	Descrição e Motivação
QP1 - Quais métodos multicritério de apoio à decisão são usados de forma inteligente na gestão de ativos?	Identificar quais são os métodos MCDM utilizados de modo inteligente no contexto da gestão de ativos. Alguns exemplos de métodos MCDM são: <i>Analytic Hierarchy Process</i> (AHP), <i>Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution</i> (TOPSIS) e <i>Preference Ranking Organization Method for Enriched Evaluation</i> (PROMETHEE).

QP2 - Quais tecnologias de inteligência artificial são usadas com priorização na gestão de ativos?	Apresentar quais são as tecnologias de inteligência artificial que são empregadas com priorização na área da gestão de ativos. Alguns exemplos de tecnologias de IA são: Rede Neural Artificial (RNA), Sistema Fuzzy (SF) e Algoritmo Evolutivo (AE).
QP3 - Quais categorias de infraestrutura utilizam gestão de ativos com priorização inteligente?	Classificar quais são os setores de infraestrutura de um país onde é aplicada gestão de ativos com priorização inteligente. Alguns exemplos dessas categorias são: energia, comunicação, transporte e indústria.
QP4 - Quais áreas de competência técnica da gestão de ativos usam priorização inteligente?	Revelar quais são as áreas de competência técnica que a gestão de ativos abrangem e que aplicam priorização inteligente. Alguns exemplos dessas áreas são: Gestão de Risco (GR) e Gestão de Manutenção (GM).
QP5 - Quais tipos de contribuições são propostas pelos estudos para resolver problemas de gestão de ativos através da priorização inteligente?	Identificar quais são os tipos de contribuições geradas pelos estudos que auxiliam a solucionar problemas de gestão de ativos por meio da aplicação da priorização inteligente. Alguns exemplos dos tipos de contribuição são: metodologias, processos e métodos.
QP6 - Quais ferramentas são usadas para dar suporte à priorização inteligente na gestão de ativos?	Reconhecer quais são as ferramentas, acadêmicas e comerciais, que são utilizadas para auxiliar a priorização inteligente na área da gestão de ativos.
QP7 - Quais etapas das contribuições propostas pelos estudos são mencionadas?	Mostrar quais são as diferentes etapas que compõem as contribuições propostas pelos estudos para a priorização inteligente na área de gestão de ativos.
QP8 - Quais métodos empíricos são utilizados para analisar as contribuições propostas pelos estudos?	Exibir quais são os diferentes tipos de métodos empíricos aplicados para examinar as contribuições propostas pelos estudos. Alguns exemplos desses métodos empíricos são: experimento, estudo de caso e pesquisa de opinião.
QP9 - Quais organizações apoiaram as contribuições produzidas pelos estudos?	Evidenciar quais são as empresas que ajudaram a desenvolver, aplicar ou avaliar as contribuições produzidas pelos estudos.
QP10 - Como as organizações apoiaram as contribuições produzidas pelos estudos?	Revelar de qual forma as corporações ajudaram a desenvolver, aplicar ou avaliar as contribuições produzidas pelos estudos.

Bibliotecas Digitais

As bibliotecas digitais (também chamadas de bases de dados, engenho ou fonte de busca ou de pesquisa) utilizadas nesta RSL foram selecionadas pelo fato de serem repositórios de grande visibilidade no meio acadêmico com enorme quantidade de estudos publicados em *journal*, conferências, simpósios, *workshops*, entre outros. Além disso, se mostraram bastante relevantes para a pesquisa.

Para melhor organizar a realização desta RSL os participantes desta classificaram os engenhos de busca em três categorias diferentes, são elas:

- **automático** - corresponde as bases de dados eletrônicas nas quais existem funcionalidades para (1) inserir ou criar uma *string* de busca, (2) filtrar os estudos retornados por meio de campos com diversas opções, (3) obter os meta-dados (Bibtex) dos resultados retornados, bem como os próprios resultados retornados através de várias seleções em uma página de acordo com a paginação da base.
- **semi-automático** - diz respeito as bases de dados eletrônicas nas quais existem funcionalidades para (1) inserir uma *string* de busca, (2) filtrar os estudos retornados por meio de campos com diversas opções, (3) obter os vários resultados retornados através de uma seleção por página de acordo com a paginação da base. Nesses tipos de bases não existem funcionalidades para criar *strings* de busca, obter os meta-dados (Bibtex) dos resultados retornados e fazer várias seleções em uma página.
- **manual** - está relacionada as bases de dados eletrônicas nas quais não existe nenhuma das funcionalidades descritas nas bases anteriores. Para acessar os estudos que ficam armazenados nessas bases é preciso pesquisar manualmente no endereço eletrônico.

De acordo com a experiência dos participantes desta RSL, adquirir os estudos em bases de dados automáticas foi mais fácil em comparação a bases de dados semi-automáticas, e estas por sua vez foram mais fáceis que as bases manuais. Ao todo foram usadas 6 fontes de busca para essa pesquisa, sendo 5 automáticas e 1 semi-automática. A Tabela 21 exhibe todas as bibliotecas usadas.

Tabela 21 – Bibliotecas digitais

Engenhos de Busca Automáticos	IEEE ¹ , ACM ² , Science Direct ³ , Scopus ⁴ , Engineering Village ⁵
--------------------------------------	---

¹ <http://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp>

² <http://dl.acm.org/>

³ <http://www.sciencedirect.com/>

⁴ <https://www.scopus.com>

⁵ <https://www.engineeringvillage.com>

Engenhos de Busca Semi-Automáticos	Repositório de Dissertações e Teses da Capes ⁶
---	---

Fonte: A autora

Strings de Busca

A *string* de busca foi elaborada com o propósito de abranger o máximo possível de sinônimos e variações relacionadas as expressões "inteligência artificial", "priorização", "gestão de ativos" e "abordagem". Escolheu-se incluir os três primeiros termos para abranger as três áreas que estão sendo contempladas nesta RSL e, o último termo foi incluído devido a busca por alguma forma de procedimento estruturado para aplicação da priorização inteligente na área de gestão de ativos.

Assim, procurou-se sinônimos dos termos citados anteriormente em estudos do tipo: artigos científicos, revisões e mapeamentos sistemáticos da literatura, livros, dicionários, entre outros. Alguns dos sinônimos encontrados são:

- **Prioritisation** - *Decision Making, Prioritization, Prioritizing, Prioritising, Priority, Prioritize, Prioritise, Selection, Choose, Preference, Privilege, Triage;*
- **Asset** - *Resources, Property, Equipment;*
- **Management** - *Maintenance, Support, Assistance;*
- **Approach** - *Technique, Method, Methodology, Model, Modeling, Guide, Guideline, Process.*

Contudo, foi encontrada uma variedade tão grande de sinônimos que chegou ao ponto de ultrapassar o limite máximo de termos permitidos na *string* de busca em algumas fontes de pesquisa. Diante disso, optou-se pela utilização do caracter curinga (*) na *string* de busca, em inglês *wildcard*, com a finalidade de permitir utilizar mais variações de um termo, abrangendo o máximo possível de estudos. Portanto, ao utilizar o termo *priori**, por exemplo, foram retornados estudos que continham: *priorization, priorisation, prioritizing, prioritize, priority*, entre outros.

A fim de obter estudos mais direcionados ao tema da pesquisa optou-se por executar a *string* de busca nos campos: título, *abstract* e palavras-chave dos estudos. É importante destacar que a *string* de busca foi adaptada para cada engenho de busca, devido às peculiaridades existentes no sistema de busca de cada fonte de pesquisa. Assim, primeiramente a *string* foi definida no engenho de busca do IEEE, posteriormente foi refinada, testada, até que os resultados retornados tornaram-se satisfatórios para só então, a *string*

⁶ <http://catalogodeteses.capes.gov.br/catalogo-teses/#!/>

ser adaptada para as outras fontes de busca. As Tabelas 23 e 22 apresentam as *strings* no idioma português e inglês, respectivamente.

Tabela 22 – *String* de busca no idioma inglês

<i>String</i> de busca no idioma inglês
(intellig* OR algorit* OR smart) AND (priorit* OR "decision making") AND ("asset management" OR "resource management" OR "equipment management" OR "network management") AND (approach OR technique OR method* OR model* OR guide)

Fonte: A autora

Tabela 23 – *String* de busca no idioma português

<i>String</i> de busca no idioma português
(intelig* OR algorit*) AND (priori* OR "tomada de decisao") AND (gestao de AND (ativo OR recurso OR equipamento OR rede)) AND (abordagem OR tecnica OR met* OR model* OR guia)

Fonte: A autora

Critérios de Inclusão e Exclusão

Os estudos primários foram obtidos durante a etapa da seleção preliminar e, no decorrer da RSL, foram sendo analisados. Para isso foi necessário indicar alguns critérios de inclusão e exclusão. O objetivo desses critérios é a identificação dos estudos primários que correspondam ao solicitado nas questões de pesquisa principal e secundárias (KITCHENHAM; CHARTERS, 2007). A descrição dos critérios de inclusão e exclusão são apresentados a seguir:

Critérios de Inclusão:

- **I1:** Estudos desenvolvidos nos idiomas: inglês ou português;
- **I2:** Estudos primários;
- **I3:** Estudos que sejam gratuitos ou de livre acesso ou que possam ser obtidos por meio da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE);
- **I4:** Estudos que estejam disponíveis em formato digital;
- **I5:** Estudos completos, ou seja, que foi possível obter o estudo na íntegra;
- **I6:** Estudos que contemplam abordagens relacionadas a ativos físicos;
- **I7:** Estudos que aplicam alguma tecnologia de IA;
- **I8:** Estudos que tratam da priorização inteligente aplicada no contexto de gestão de ativos;

Critérios de Exclusão:

- **E1:** Estudos desenvolvidos em outros idiomas diferentes do inglês ou português;
- **E2:** Estudos que não possuam informações bibliográficas como, ano de publicação ou referências;
- **E3:** Estudos secundários;
- **E4:** Estudos duplicados (apenas uma cópia de cada estudo foi incluída);
- **E5:** Estudos que não estejam relacionados com o tema desta RSL;
- **E6:** Estudos que não respondem as questões de pesquisa;
- **E7:** Estudos que não sejam gratuitos ou de livre acesso ou que não possam ser obtidos por meio da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE);
- **E8:** Estudos que não estejam disponíveis em formato digital;
- **E9:** Estudos incompletos, ou seja, que não foi possível obter o estudo na íntegra;
- **E10:** Estudos que abordam priorização na área da gestão de ativos sem utilizar nenhuma tecnologia de IA;
- **E11:** Estudos que apenas citam tecnologia de IA sem aplicá-la;
- **E12:** Estudos que tratam priorização inteligente em um contexto diferente de gestão de ativos;

Primeiramente, a verificação dos trabalhos ocorre utilizando os critérios de exclusão. Se um estudo atender a qualquer um dos critérios de exclusão, ou seja, se (E1 OU E2 OU E3 OU E4 OU E5 OU E6 OU E7 OU E8 OU E9 OU E10 OU E11 OU E12) for verdadeiro, então, o estudo deve ser removido. Em seguida, são observados os critérios de inclusão. Assim, é verificado se (I1 E I2 E I3 E I4 E I5 E I6 E I7 E I8) são atendidos. Caso verdadeiro, então os trabalhos devem ser selecionados para as próximas etapas.

Critérios de Qualidade

A avaliação da qualidade dos estudos selecionados foi obtida através da utilização de uma técnica de pontuação para avaliar a relevância, completude e credibilidade dos estudos selecionados nas etapas anteriores. Ao todo foram definidos dez critérios de qualidade, dos quais seis deles, Q1, Q2, Q3, Q4, Q5 e Q10 foram baseados em (DERMEVAL et al., 2016), (PITANGUEIRA; MACIEL; BARROS, 2015), (ACHIMUGU et al., 2014), (CAVALCANTI et al., 2018) e (CAMBOIM; ALENCAR, 2018) ou seja, critérios de qualidade já existentes na literatura. As outras quatro questões, Q6, Q7, Q8, e Q9, foram propostas de acordo com

o escopo e as questões de pesquisa desta RSL. A Tabela 24 apresenta as questões dos critérios de qualidade com suas possíveis respostas, respectivamente.

Tabela 24 – Questões dos critérios de qualidade

Crítérios de Qualidade	Possíveis Respostas
Q1 - Os objetivos da pesquisa estão claros?	Y = 1, N = 0, P = 0.5
Q2 - Existe uma descrição objetiva do contexto (indústria, academia, outros) em que a pesquisa foi validada?	Y = 1, N = 0, P = 0.5
Q3 - A pesquisa trás algum benefício prático que possa ser aplicado a indústria (ou o benefício é puramente teórico direcionado ao meio acadêmico)?	Y = 1, P = 0.5, N = 0
Q4 - O estudo é fundamentado em alguma pesquisa (ou simplesmente utilizou "lições aprendidas" baseadas na experiência e opinião de especialistas)?	Y = 1, N = 0
Q5 - Existe uma explicação direta à respeito dos resultados da pesquisa?	Y = 1, N = 0, P = 0.5
Q6 - Existe uma descrição explícita das etapas que constituem as contribuições produzidas pelo estudo?	Y = 1, N = 0, P = 0.5
Q7 - O estudo cita objetivamente quais categoria de infraestrutura utilizam gestão de ativos com priorização inteligente?	Y = 1, P = 0.5, N = 0
Q8 - Existe uma explicação direta sobre quais tecnologias de IA que são utilizadas com priorização no contexto de gestão de ativos?	Y = 1, P = 0.5, N = 0
Q9 - Existe menção explícita de quais áreas de competência técnica da gestão de ativos usam priorização inteligente?	Y = 1, P = 0.5, N = 0
Q10 - Há alguma limitação, restrição ou ameaça a validade nos resultados?	Y = 1, N = 0, P = 0.5

Fonte: A autora

Todas as questões dos critérios de qualidade apresentadas na Tabela 24 possuem possíveis respostas definidas por meio de uma escala do tipo *Likert* que varia de 0 a 1 ponto, conforme descrição a seguir:

- N = 0 corresponde à pontuação mínima, ou seja, o estudo não atende ao critério estipulado;

- $P = 0.5$ corresponde à pontuação mediana, ou seja, o estudo atende parcialmente ao critério avaliado;
- $Y = 1$ corresponde à pontuação máxima, ou seja, o estudo atende satisfatoriamente ao critério estabelecido.

Para responder as questões dos critérios de qualidade, cada um dos estudos foi cuidadosamente analisado. No final da análise era atribuída uma pontuação para cada uma das questões. Posteriormente, somava-se os pontos de todas as questões, a fim de obter a pontuação total do estudo.

Após algumas reuniões e discussões entre os participantes desta RSL, estabeleceu-se que os estudos que obtivessem pontuação inferior a 7.0 seriam descartados pois, caso o estudo tivesse pontuação igual a 1 nas questões Q1, Q2, Q3, Q4, Q5 e Q10, este precisaria, obrigatoriamente, obter no mínimo 1 ponto nas questões Q6, Q7, Q8 e Q9 para não ser excluído.

O Apêndice D apresenta a pontuação que foi atribuída a cada uma das questões dos critérios de qualidade para os estudos incluídos, assim como a pontuação total que cada estudo obteve.

Ameaças à validade

Para que futuramente seja reaplicado este estudo alguns pontos devem ser aprimorados e outros devem ser levados em consideração para melhorar as etapas dessa RSL e refinar os resultados obtidos. A fim de melhor organizar esta seção, as ameaças à validade foram classificadas em Interna, Externa, Construção e Conclusão conforme apresentado por (WOHLIN et al., 2012), (DERMEVAL et al., 2016) (ZHOU et al., 2016) e (EBERT et al., 2021).

Validade de construção

Existe a possibilidade da *string* de busca não possuir todos os termos necessários para retornar os estudos desejados. A fim de minimizar essa ameaça, foram utilizadas diversas variações dos principais termos desta RSL.

Para o primeiro conceito, priorização, foi usado o radical "priori" e o termo "tomada de decisão" para garantir que todos os estudos selecionados estejam relacionados às abordagens de tomada de decisão. Para o segundo conceito, inteligente, os radicais "intelig" e "algorit" juntamente com o termo "*smart*" foram utilizados para assegurar que o máximo de sinônimos fosse retornado. Por fim para o terceiro conceito, gestão de ativos, os termos "gestão de ativos", "gestão de recursos" e "gestão de equipamentos" são usados para garantir alta cobertura de estudos potencialmente relevantes.

A subseção 3.2 apresenta em detalhes diversos sinônimos dos principais termos utilizados nessa RSL assim como, a estratégia utilizada nas *strings* de busca.

Também é possível que as questões de pesquisa secundárias não tenham conseguido responder completamente a principal questão de pesquisa dessa RSL (Como a priorização inteligente é aplicada na área da gestão de ativos?). Para reduzir essa ameaça, foram elaboradas dez questões de pesquisa secundárias bastante variadas que abrangem diversos aspectos sobre a utilização da priorização inteligente no contexto específico da gestão de ativos. Todas as dez questões de pesquisa foram respondidas e seus resultados são apresentados, analisados e discutidos ao longo dessa RSL.

Além disso, para analisar se as questões de pesquisa elaboradas estavam sendo respondidas pelos estudos retornados optou-se por realizar testes preliminares nas bases de dados. Foi testada a cobertura e a representatividade dos estudos recuperados, incluindo pesquisas automáticas e semi-automáticas nos engenhos de busca.

Validade interna

Alguns estudos relevantes para o tema dessa RSL podem ter sido excluídos erradamente pois, a quantidade de estudos retornados foi muito grande, fato esse que tornou a execução das etapas da revisão um processo demorado. Somado a isso, o tema desta RSL engloba três áreas distintas (priorização, IA e gestão de ativos) que não são as áreas de especialidade de nenhum dos participantes.

Para minimizar os possíveis erros de seleção dos estudos e extração dos dados, foi necessário um esforço para compreender a interseção existente entre essas áreas. Para isso foram realizadas diversas pesquisas através de livros e artigos científicos assim como, reuniões com especialistas (principalmente na área de gestão de ativos) para desenvolver um conhecimento prévio a cerca do tema abordado na RSL. Todo esse processo ocorreu antes de iniciar a revisão e durante a elaboração e execução da mesma.

Além disso, a etapa de seleção dos estudos, extração dos dados e os critérios de inclusão, exclusão e qualidade foram cuidadosamente planejados e discutidos pelos participantes desta RSL de forma iterativa e colaborativa, proporcionando várias trocas de ideias, a fim que todos os conflitos fossem discutidos e resolvidos minimizando o risco de exclusão de estudos relevantes. Dessa maneira, tentou-se mitigar as ameaças oriundas do viés pessoal de cada participante.

Também é importante mencionar que a participante responsável pela elaboração e execução desta RSL é uma aluna de pós-graduação no nível de doutorado com experiência anterior em RSL e, os outros dois participantes responsáveis pela análise e supervisão das etapas da revisão são professores-pesquisadores de universidades federais com extensa carreira acadêmica, ampla experiência em diversos segmentos da ciência da computação e áreas a fins, além de várias publicações incluindo mapeamento e RSL.

Validade externa

Os estudos dessa RSL incluem artigos científicos, dissertações e teses que utilizam priorização de forma inteligente, ou seja, que empregam alguma tecnologia de IA para realizar a priorização. Além disso, os estudos devem abranger apenas priorização inteligente que são aplicadas especificamente na área de gestão de ativos.

Todos os estudos que não estavam na interseção das três áreas (priorização, IA e gestão de ativos) foram excluídos dessa RSL, ou seja, estudos que englobavam priorização na área de gestão de ativos sem IA, priorização inteligente fora da gestão de ativos e aplicação de IA na área de gestão de ativos sem priorização.

Validade de conclusão

Essa RSL seguiu as diretrizes amplamente definidas por (KITCHENHAM; CHARTERS, 2007) e suas atualizações (KITCHENHAM; BRERETON, 2013) e (MALHOTRA, 2016) e suas atualizações (MALHOTRA, 2019). Foi aplicado um rigoroso e sistemático processo de busca, seleção e análise dos estudos totalizando cinco etapas distintas que abrangem desde a seleção nos engenhos de busca até a extração e discussão dos resultados obtidos. A Figura 14 ilustra um resumo de todas as etapas dessa RSL.

Para tornar mais transparente a motivação que embasou excluir alguns estudos durante uma determinada etapa, optou-se por exibir a quantidade e a porcentagem dos estudos excluídos por critérios de exclusão de acordo com cada engenho de busca, conforme pode ser visualizado nos Apêndices B e C.

3.3 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Esta seção apresenta o resultado consolidado da extração e análise dos dados provenientes de todos os estudos (artigos científicos, dissertações e teses) selecionados ao longo das etapas desta RSL, bem como a resposta de cada uma das dez questões de pesquisa secundárias.

Para melhorar o entendimento do panorama geral dos estudos e dos resultados obtidos, optou-se por representá-los através de diferentes gráficos do tipo: *lollipop* (horizontal e vertical), distribuição temporal, barra circular, mapa-múndi e mapa do Brasil. Todos esses gráficos são usados para demonstrar a distribuição e incidência de estudos sobre vários aspectos. Além disso, também optou-se por utilizar gráficos do tipo bolha com duas dimensões, para fazer o cruzamento de informações e exibir a intensidade de determinados dados.

Todos os gráficos que foram gerados para representar as informações obtidas nesta RSL utilizaram as ferramentas, RStudio versão 1.2.5⁷ e Python versão 3.9.5⁸.

⁷ <https://rstudio.com/>

⁸ <https://www.python.org/downloads/>

QP1: Quais métodos multicritério de apoio à decisão são usados de forma inteligente na gestão de ativos?

Resultados

Os resultados dessa questão de pesquisa são importantes para identificar os diferentes métodos MCDM que são utilizados em conjunto com algum mecanismo inteligente no contexto da gestão de ativos.

Para responder essa questão de pesquisa primeiramente foi necessário identificar e analisar os estudos selecionados a fim de reconhecer se e quais deles especificavam algum(ns) método(s) MCDM.

Assim, a Tabela 25 mostra um resumo sobre o levantamento dos estudos que especificam o(s) método(s) MCDM utilizados de forma inteligente na área de gestão de ativos. Assim, esta Tabela exibe as seguintes colunas: se o estudo especifica o método MCDM (sim ou não), a identificação dos estudos, a quantidade de estudos que especificam o(s) método(s) MCDM dentro do contexto da gestão de ativos e a porcentagem de estudos de acordo com a coluna anterior de quantidade.

Com a Tabela 25 é possível verificar que a maioria dos estudos não especificam o(s) método(s) MCDM que utilizam (78,05%, 64 estudos), restando um pequeno número de estudos que especificam (21,95%, 18 estudos).

Tabela 25 – Quantidade de estudos que especificam o método MCDM utilizado

Especifica método MCDM	Estudos	Qtd.	%
Não	d2, d3, d4, t5, d7, t8, t9, d10, t11, t12, d13, d14, d15, t16, d17, d18, d19, d20, d21, d23, t24, d25, t26, d27, d28, t29, t31, t32, d34, s35, s36, s37, s38, s39, s40, s42, s43, s44, s46, s47, s48, s50, s51, s53, s55, s57, s58, s60, s61, s62, s63, s64, s66, s69, s70, s72, s73, s74, s75, s76, s77, s78, s80, s81	64	78,05
Sim	d1, d6, d22, t30, t33, s41, s45, s49, s52, s54, s56, s59, s65, s67, s68, s71, s79, s82	18	21,95

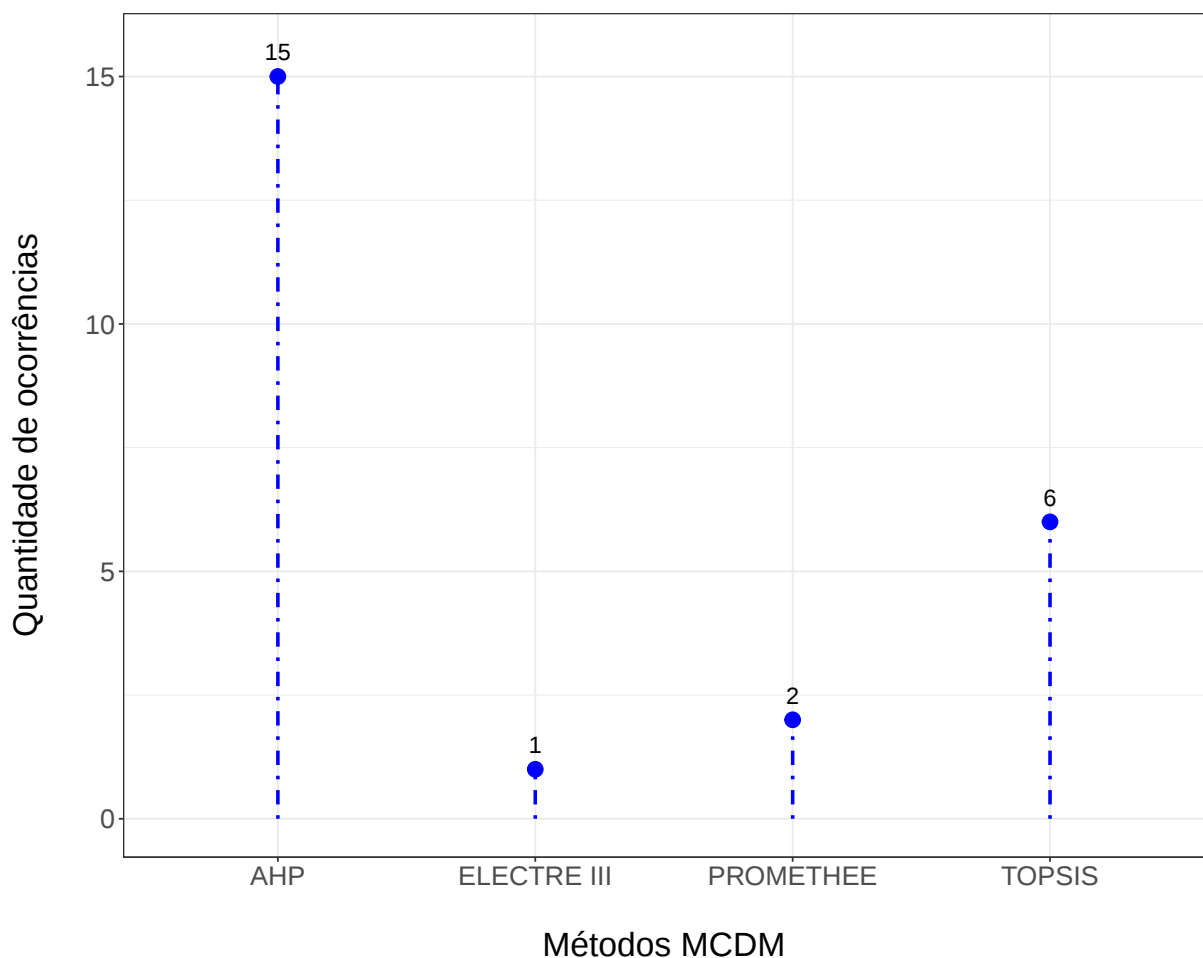
Fonte: A autora

Apesar de ter sido pequena a quantidade de estudos que especificam o(s) método(s) MCDM utilizados de forma inteligente na área de gestão de ativos (apenas 18 estudos), a partir deles foi possível identificar o(s) nome(s) desse(s) método(s) MCDM assim como suas respectivas características. Importante salientar que nesta RSL a categorização des-

ses métodos fundamentou-se nos trabalhos de (CRISTÓBAL, 2012), (ISHIZAKA; NEMERY, 2013), (PAPATHANASIOU; PLOSKAS et al., 2018) e (CINELLI et al., 2020).

Conforme os resultados apresentados na Figura 15 o método MCDM que mais se destaca é a Analytic Hierarchy Process (AHP) (83,33%, 15 estudos). Em sequência, Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) (33,33%, 6 estudos). Posteriormente, Preference Ranking Organization Method for Enrichment of Evaluations (PROMETHEE) (11,11%, 2 estudos). Finalmente, Elimination and Choice Expressing Reality (ELECTRE) (5,56%, 1 estudo).

Figura 15 – Ocorrência dos métodos MCDM



Fonte: A autora

Mais detalhes são exibidos na Tabela 26, sobre os estudos de acordo com o(s) método(s) MCDM identificado(s). Assim, esta Tabela exibe as seguintes colunas: o nome do método MCDM, a identificação dos estudos, a quantidade de estudos por método MCDM e a porcentagem de estudos em cada o método MCDM. Interessante destacar que pode ter sido detectado em um mesmo estudo mais de um método MCDM portanto, a soma das porcentagens pode ser maior que 100%.

Tabela 26 – Distribuição dos estudos de acordo com o(s) método(s) MCDM

Método MCDM	Estudos	Qtd.	%
Analytic Hierarchy Process (AHP)	d6, d22, t30, t33, s41, s45, s49, s52, s56, s59, s65, s67, s71, s79, s82	15	83,33
Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)	t33, s52, s54, s67, s79, s82	6	33,33
Preference Ranking Organization Method for Enrichment of Evaluations (PROMETHEE)	d1, s68	2	11,11
Elimination and Choice Expressing Reality (ELECTRE)	d22	1	5,56

Fonte: A autora

Análise e discussão

Os resultados desta questão de pesquisa mostram que foi identificada uma pequena quantidade de métodos MCDM (apenas 4) que são utilizados e suportados de forma inteligente dentro da área de gestão de ativos, conforme apresentado na Tabela 25. Acredita-se que isto ocorra, principalmente, devido a duas situações: primeiramente, porque muitas vezes a priorização é realizada de forma *ad-hoc*, ou seja, sem um processo bem definido e sistemático, conseqüentemente sem a utilização de um método MCDM específico. Além disso, porque diversos pesquisadores da área da gestão de ativos não possuem conhecimento sobre a área de priorização para conseguir identificar e classificar qual método MCDM está sendo utilizada no seu estudo.

Dentro dos métodos MCDM identificados, AHP é o tipo mais frequente abordado pelos estudos, com 83,33%. De fato, até certo ponto, esse resultado era esperado, uma vez que a AHP é largamente citada, referenciada, exemplificada e utilizada na MCDA e em vários outros campos da ciência devido a sua comprovada eficácia no apoio e justificativa das alternativas escolhidas.

TOPSIS também possui uma representação nos estudos incluídos, com 33,33%. Esse resultado também é interessante, pois mostra que grande parte dos estudos contou com a utilização de análises e raciocínio lógico para a seleção da alternativa ideal. Importante destacar que contando apenas uma vez os estudos em comum, juntos os métodos AHP e TOPSIS correspondem a mais de 88% de todos os estudos que foram incluídos e que especificam o(s) método(s) MCDM indicando um interesse de usar esses métodos não apenas para realizar escolhas, selecionar alternativas e ordenar a execução de tarefas

na gestão de ativos, mas também para realizar análises, raciocínios e planejamento de atividades futuras.

Também há interesse no uso do método PROMETHEE na área de gestão de ativos. Esse resultado pode indicar que os estudos tinham como objetivo aplicar um método multicritério de apoio a decisão no qual, o critério pode ser indicado pelo tomador de decisão de acordo com o contexto ou estabelecido de forma fixa pela técnica utilizada. É relevante salientar que esse método MCDM faz parte do *outranking* ou escola francesa, ou seja, esse tipo de método não utiliza o conceito de resultado compensatório, o que significa dizer que um resultado positivo não poderá compensar um outro resultado negativo.

Por outro lado, o uso do método ELECTRE na gestão de ativos não é tão expressivo, cerca de 5%, quando comparado ao uso dos outros métodos. Esse resultado pode indicar que os pesquisadores da área de gestão de ativos estão menos preocupados com o desenvolvimento de pesquisas que utilizem métodos MCDM que sejam pouco citados na literatura e com poucos resultados publicados em relação a outros métodos já consolidados.

Entre os 18 estudos que foram incluídos nessa RSL e que especificam os métodos MCDM, nenhum deles abordam todos os quatro métodos identificados mas, tiveram estudos que abordaram dois métodos como, s52 com AHP e TOPSIS e, d22 com AHP e ELECTRE. Outro ponto interessante é os métodos AHP e TOPSIS apresentarem cinco estudos em comum, são eles: t33, s52, s67, s79 e s82.

Tendo em vista o potencial do uso de métodos MCDM no contexto da gestão de ativos, como mostrado na Tabela 25, os resultados dessa questão de pesquisa sugerem que o uso de priorização para apoiar gestão de ativos é uma área que está em ampla ascensão porém, precisa ser mais investigada pois, diversos métodos MCDM bastante consolidados na literatura não foram incluídos nos resultados, como por exemplo, Multicriteria Optimization and Compromise Solution (VIKOR), Analytic network process (ANP) e Multi-attribute utility theory (MAUT), conforme (ISHIZAKA; NEMERY, 2013) e (PAPATHANASIOU; PLOSKAS et al., 2018).

QP2: Quais tecnologias de inteligência artificial são usadas com priorização na gestão de ativos?

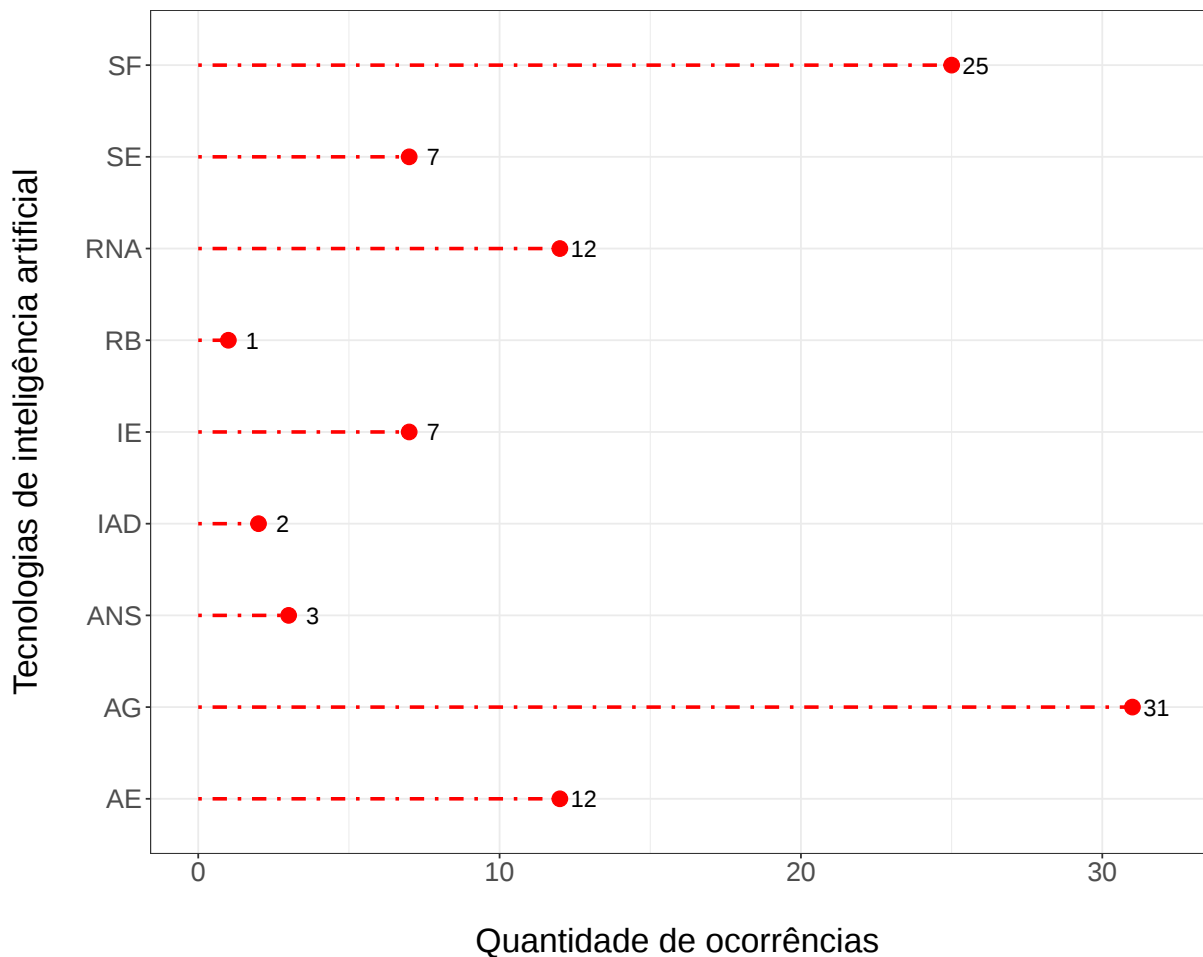
Resultados

A proposta dessa questão de pesquisa foi identificar quais são os mecanismos inteligentes que são empregados juntamente com priorização na área de gestão de ativos. Importante salientar que nesta RSL a categorização das tecnologias de IA baseou-se nos trabalhos de (ENGELBRECHT, 2007), (RUSSELL; NORVIG, 2016) e (COREA, 2019).

Conforme os resultados apresentados na Figura 16 a tecnologia de IA que mais se destaca é a Algoritmo Genético (AG) (37,80%, 31 estudos). Em sequência, Sistema Fuzzy (SF) (30,49%, 25 estudos). Posteriormente, Algoritmo Evolutivo (AE) e Rede Neural

Artificial (RNA) (14,63%, 12 estudos). Adiante, Inteligência de Enxame (IE) e Sistema Especialista (SE) (8,54%, 7 estudos). Em seguida, Aprendizagem de máquina não supervisionado (ANS) (3,66%, 3 estudos). Logo após, Inteligência Artificial Distribuída (IAD) (2,44%, 2 estudos). Finalmente, Rede Bayesiana (RB) (1,22%, 1 estudo).

Figura 16 – Ocorrência das tecnologias de inteligência artificial



Fonte: A autora

Mais detalhes são exibidos na Tabela 27, sobre os estudos de acordo com as tecnologias de IA identificadas. Assim, esta Tabela exibe as seguintes colunas: o nome da tecnologia de IA, a identificação dos estudos, a quantidade de estudos por tecnologia de IA e a porcentagem de estudos em cada tecnologia de IA. Interessante destacar que pode ter sido detectado em um mesmo estudo mais de uma tecnologia de IA portanto, a soma das porcentagens pode ser maior que 100%.

Tabela 27 – Distribuição dos estudos de acordo com as tecnologias de IA

Tecnologia de IA	Estudos	Qtd.	%
------------------	---------	------	---

Algoritmo Genético (AG)	d4, d7, t11, d14, d15, t16, d19, d20, d23, d25, t29, t30, t31, t32, d34, s36, s37, s44, s45, s47, s48, s50, s56, s57, s58, s67, s70, s74, s75, s76, s77	31	37,80
Sistema Fuzzy (SF)	d1, d2, t5, d6, t11, d22, s35, s40, s42, s44, s45, s46, s49, s52, s56, s59, s60, s61, s65, s68, s69, s71, s74, s81, s82	25	30,49
Algoritmo Evolutivo (AE)	d3, t11, d18, t24, d27, t29, t30, t33, s50, s74, s78, s79	12	14,63
Rede Neural Artificial (RNA)	t5, d17, d21, t26, d28, d34, s41, s43, s60, s61, s65, s66	12	14,63
Inteligência de Enxame (IE)	t8, s54, s62, s63, s64, s71, s72	7	8,54
Sistema Especialista (SE)	t9, d10, s38, s39, s43, s55, s73	7	8,54
Aprendizagem de máquina não supervisionado (ANS)	t12, d13, s53	3	3,66
Inteligência Artificial Distribuída (IAD)	s39, s51	2	2,44
Rede Bayesiana (RB)	s80	1	1,22

Fonte: A autora

Análise e discussão

Os resultados desta pergunta de pesquisa mostram que foi identificada uma quantidade razoável de tecnologia de IA, 9 tecnologias, que são utilizadas pelos métodos MCDM dentro da área de gestão de ativos.

AG é o tipo mais frequente de tecnologia de IA abordada pelos estudos, com aproximadamente 38%. De certa forma, já era esperado esse resultado, pelo fato de que AG é amplamente utilizado para busca e otimização afim de encontrar a solução ótima ou mais aproximada possível do ideal, fazendo com que essa tecnologia possa ser aplicada à diversos contextos diferentes de problemas. Além de também ser empregada, principalmente, em domínio de problemas de IA que envolvem planejamento e comunicação.

SF também é uma tecnologia de IA que possui uma representação significativa nos estudos incluídos, por volta de 30%. Esse resultado também é interessante, pois mostra que grande parte dos estudos contou com a utilização de raciocínio lógico com determinado grau de certeza para a seleção da melhor alternativa.

Importante destacar que contando apenas uma vez os estudos em comum, juntas essas tecnologias, AG e SF, correspondem a pouco mais 68% de todos os estudos que foram incluídos, apontando um empenho dos pesquisadores em utilizar tecnologias de IA que possibilitam potencializar a busca pela alternativa que melhor se adequa ao contexto do problema, além de também proporcionarem o desenvolvimento do raciocínio baseado em dados incertos para inferir novas informações.

As tecnologias de IA, AE e RNA, também possuem uma representação significativa nos estudos incluídos, com pouco menos de 15% cada uma delas. É relevante mencionar que o AE abrange estudos que usam diferentes implementações para apoiar a priorização inteligente, como por exemplo, Improving the Strength Pareto Evolutionary Algorithm (SPEA2) (t29, t30) e Non-dominated Sorting Genetic Algorithm II (NSGA-II) (t11, s74). De maneira semelhante acontece com RNA com Back-propagation Artificial Neural Network (BP-ANN) (s66), por exemplo.

IA, Inteligência de Enxame (IE), também possuem uma representação nos estudos incluídos, com 8,54%. Interessante observar que os pesquisadores estão buscando analisar a organização e o comportamento de enxames ou colônias de organismos vivos sociais para aplicar na priorização de gestão de ativos. Revelante ponderar também que assim como AE e RNA, o IE também inclui estudos com implementações distintas, como por exemplo, Algoritmo de Colônia de Formigas (CF) (s62, s63 e s64) e Enxame de Partículas (EP) (s50, s54 e s72).

Também há interesse no uso da tecnologia de IA, Sistema Especialista (SE), para suportar priorização inteligente no contexto da gestão de ativos. O emprego de SE já era esperado pois, a principal característica dessa tecnologia de IA é determinar regras para domínios específicos, aplicá-las e executá-las através da utilização de uma lógica que auxilie na solução de problemas e inferência de possíveis soluções.

Juntas as tecnologias IE e SE correspondem a aproximadamente 14% de todos os estudos que foram incluídos nesta RSL. Esse resultado pode indicar que os estudos tinham como finalidade aplicar tecnologias de IA multiobjetivos para resolver problemas de seleção/ordenação e inferir possíveis soluções facilitando a tomada de decisão.

Por outro lado, não é tão expressivo o uso das tecnologias de IA Aprendizagem de máquina não supervisionado (ANS), Inteligência Artificial Distribuída (IAD) e Rede Bayesiana (RB) para realizar a priorização na área de gestão de ativos, tendo em vista que juntando todas as três tecnologias o resultado obtido foi cerca de 7,32% do total de estudos incluídos, removendo os compartilhados. Esse resultado aponta uma carência no desenvolvimento de pesquisas que utilizem uma maior variedade de tecnologias de IA para se realizar a priorização de maneira inteligente, principalmente em relação a tecnologias de reconhecimento de padrões, agrupamento ou aprendizagem profunda, como por exemplo, algoritmos de *k-means*, K-Nearest Neighbors (KNN), entre outros.

Entre os estudos que foram incluídos, houveram alguns que apresentaram duas ou

mais tecnologias IA em comum, como por exemplo, t11 e s74 com AG, SF e AE, t5, s60 e s65 com SF e RNA, t29, t30, s50 com AG e AE, s44, s45, s56 com AG e SF e, d34 com AG e RNA.

Considerando-se toda a capacidade de uso de tecnologias de IA para realizar a priorização no contexto de gestão de ativos, conforme mostrado na Tabela 27, os resultados obtidos indicam que é necessário mais investimento e dedicação nesta área pois, muitos estudos concentraram-se em algumas tecnologias com características semelhantes em relação ao paradigma e ao domínio do problema (COREA, 2019), deixando de abranger algumas tecnologias de IA relevantes ou mesmo abrangendo pouco, como por exemplo, Aprendizagem Profunda (AP), Processamento de Linguagem Natural (PLN), Aprendizagem de máquina não supervisionado (ANS) e Máquina de Vetores de Suporte (SVM).

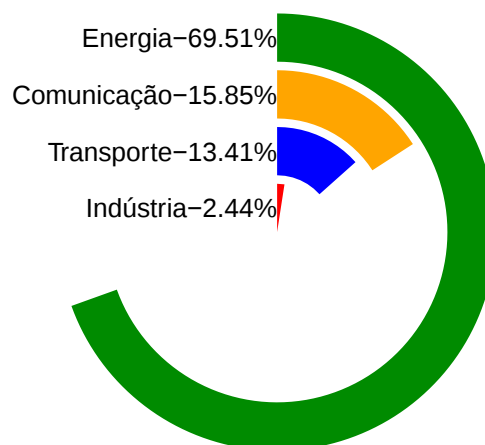
QP3: Quais categorias de infraestrutura utilizam gestão de ativos com priorização inteligente?

Resultados

A intenção dessa questão de pesquisa foi identificar quais são os setores de infraestrutura de um país onde é aplicada gestão de ativos com priorização inteligente. É relevante destacar que a classificação dessas categorias baseou-se nos trabalhos de (KABIRU, 2016) e (PROAG, 2021).

Segundo os resultados exibidos na Figura 17 a categoria de infraestrutura que mais se destaca é a Energia (69,51%, 57 estudos). Posteriormente, Comunicação (15,85%, 13 estudos). Em sequência, Transporte (13,41%, 11 estudos). Finalmente, Indústria (2,44%, 2 estudos).

Figura 17 – Ocorrência das categoria de infraestrutura



Fonte: A autora

A Tabela 28 mostra mais detalhes sobre os estudos de acordo com as categorias de infraestrutura que foram identificadas. Assim, esta Tabela exhibe as seguintes colunas: o nome da categoria, a identificação dos estudos, a quantidade de estudos por categoria de infraestrutura e a porcentagem de estudos em cada categoria. Interessante salientar que pode ter sido detectado em um mesmo estudo mais de uma categoria de infraestrutura portanto, a soma das porcentagens pode ser maior que 100%.

Tabela 28 – Distribuição dos estudos por tipo de categoria

Categoria de infraes- trutura	Estudos	Qtd.	%
Energia	d1, d2, d4, d7, t8, t9, d10, t11, d14, d15, t16, d17, d19, d20, d21, d22, t24, d25, t26, d27, d28, t29, t30, t31, t32, t33, s35, s36, s37, s43, s46, s47, s48, s49, s50, s53, s54, s55, s56, s57, s60, s61, s62, s63, s65, s66, s68, s69, s70, s72, s73, s74, s75, s76, s78, s79, s80	57	69,51
Comunicação	t5, d6, d18, d23, d34, s41, s42, s44, s45, s52, s67, s71, s77	13	15,85
Transporte	d3, t12, d13, s38, s39, s40, s51, s56, s58, s59, s64	11	13,41
Indústria	s81, s82	2	2,44

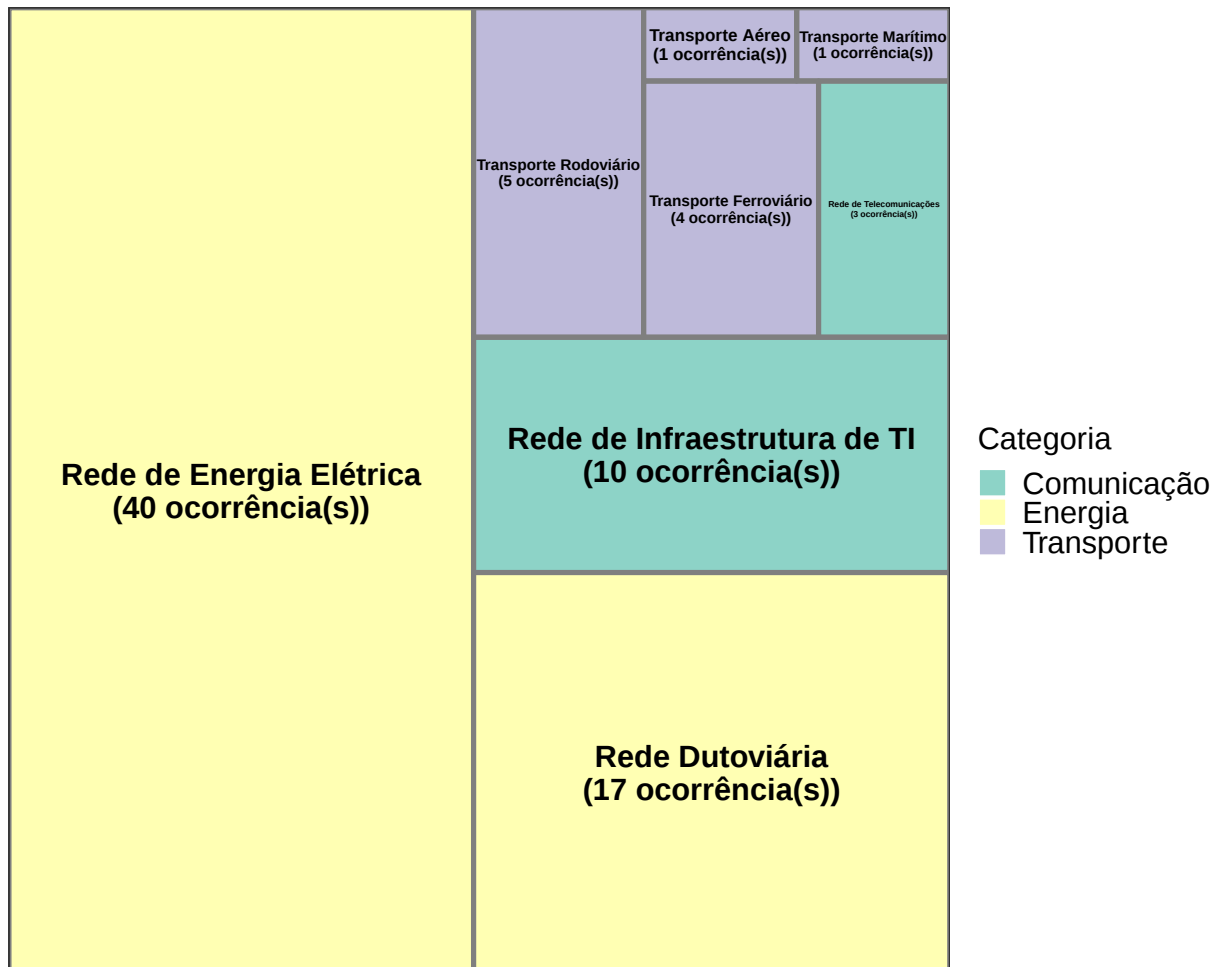
Fonte: A autora

Apesar de ter sido pequena a variedade de categorias de infraestrutura que os estudos especificam (apenas 4 categorias), a partir delas foi possível identificar nos estudos incluídos quais são as subcategorias que utilizam gestão de ativos com priorização inteligente. Importante salientar que nesta RSL a classificação dessas subcategorias também fundamentou-se nos trabalhos de (KABIRU, 2016) e (PROAG, 2021).

De acordo com os resultados apresentados na Figura 18 a subcategoria Rede de Energia Elétrica da categoria Energia é a que mais se destaca (70,18%, 40 estudos). Posteriormente, a subcategoria Rede Dutoviária da categoria Energia (29,82%, 17 estudos). Em sequência, a subcategoria Rede de Infraestrutura de TI da categoria Comunicação (76,92%, 10 estudos). Adiante, a subcategoria Transporte Rodoviário da categoria Transporte (45,45%, 5 estudos). Logo após, a subcategoria Transporte Ferroviário da categoria Transporte (36,36%, 4 estudos) e a subcategoria Rede de Telecomunicações da categoria Comunicação (23,08%, 3 estudos). Finalmente, as subcategorias Transporte Marítimo e Aéreo ambas da categoria Transporte (9,09%, 1 estudo) e (9,09%, 1 estudo), respectiva-

mente.

Figura 18 – Ocorrência das categorias de infraestrutura



Fonte: A autora

Mais detalhes são exibidos na Tabela 29, sobre os estudos de acordo com as subcategorias de infraestrutura identificadas. Assim, esta Tabela exhibe as seguintes colunas: o nome da subcategoria de infraestrutura, a identificação dos estudos, a quantidade de estudos por subcategoria e a porcentagem de estudos em cada a subcategoria de infraestrutura. Interessante destacar que pode ter sido detectado em um mesmo estudo mais de uma subcategoria de infraestrutura portanto, a soma das porcentagens pode ser maior que 100%.

Tabela 29 – Distribuição dos estudos por subcategoria

Subcategoria	Estudos	Qtd.	%
Energia			

Rede de Energia Elétrica	d1, d2, d4, d7, t8, t9, t11, d15, d17, d19, d20, d21, d22, t24, d25, t26, d27, d28, t29, t30, t31, t32, t33, s35, s50, s54, s57, s62, s63, s66, s68, s69, s70, s72, s73, s74, s75, s76, s78, s79	40	70,18
Rede Dutoviária	d10, d14, t16, s36, s37, s43, s46, s47, s48, s49, s53, s55, s56, s60, s61, s65, s80	17	29,82
Comunicação			
Rede de Infraestrutura de TI	s6, s18, s34, s41, s42, s44, s45, s52, s67, s71	10	76,92
Rede de Telecomunicações	t5, d23, s77	3	23,08
Transporte			
Transporte Rodoviário	t12, d13, s56, s58, s64	5	45,45
Transporte Ferroviário	d3, s38, s39, s51	4	36,36
Transporte Aéreo	s40	1	9,09
Transporte Marítimo	s59	1	9,09

Fonte: A autora

Análise e discussão

Os resultados desta questão de pesquisa mostram que foi identificada uma diversidade muito reduzida (apenas 4) de categorias de infraestrutura que utilizam gestão de ativos com priorização inteligente. Acredita-se que isso ocorra pelo fato de vários especialistas que atuam nos setores econômicos da sociedade ainda não possuem o conhecimento dos benefícios que a priorização proporciona, principalmente quando essa está associada com alguma tecnologia de IA. Embora tenha sido identificadas poucas categorias, também foi possível reconhecer subcategorias nos estudos incluídos que trouxeram informações relevantes para essa RSL. Todos esses resultados são discutidos a seguir.

A categoria Energia é abordada com mais frequência pelos estudos, com quase 70%. Esse resultado já era esperado, pois essa categoria está diretamente ligada a geração, transmissão e distribuição de diversos tipos de energia que abastecem uma região ou país (PROAG, 2021). Além disso, as subcategorias identificadas nos estudos incluídos são

Rede de Energia Elétrica e Rede Dutoviária, ou seja, dois tipos de redes essenciais para condução da vida moderna (NETO; CASTRO, 2021). Devido a isso, diversas pesquisas são desenvolvidas na tentativa de mitigar cada vez mais as lacunas nessa categoria de infraestrutura.

Ademais, hidrelétricas são uma das principais fontes de energia geradora de eletricidade no mundo correspondendo a aproximadamente 20% (MORAIS, 2015). No Brasil, país onde muitos estudos dessa RSL foram desenvolvidos, o cenário é bastante semelhante. Nesse país, a energia elétrica gerada pelas hidrelétricas representa por volta de 70% (MORAIS, 2015). Relevante salientar que existe uma forte tendência em vários países de explorar outras fontes renováveis de energia para gerar eletricidade, como eólica, solar, geotérmica, entre outras (MORAIS, 2015).

De forma semelhante, as Rede Dutoviárias também desempenham um importante papel na sociedade contemporânea através da condução de vários tipos diferentes de *commodities*, muitas vezes inflamáveis e perigosos (PHAN; DHAR, 2016). Ao analisar o tipo de produto que é deslocado pelas Redes Dutoviárias verificou-se que água é o que mais se destaca (72,22%, 13 estudos). Posteriormente, esgoto (11,11%, 2 estudos) e, petróleo e seus derivados (11,11%, 2 estudos). Finalmente, gás natural (5,56%, 1 estudo). Revelante mencionar que embora as Redes Dutoviárias tenham taxas de falha muito mais baixas quando comparada a transportes como rodoviário ou ferroviário, infelizmente as falhas ainda ocorrem, e às vezes as consequências são terríveis (DEY, 2001) e (DEY, 2003). Acredita-se que esse é um dos fatores que impulsionam pesquisas para priorização de riscos e locais de manutenção nessa categoria de infraestrutura, conforme (DAWOTOLA; GELDER; VRIJLING, 2011), (NEVES; PEREIRA; COSTA, 2013), (PHAN; DHAR, 2016) e (CHALGHAM et al., 2019).

A categoria de infraestrutura Comunicação também possui expressão nos estudos incluídos, com aproximadamente 16%. Esse resultado também é interessante, pois mostra que os pesquisadores se preocupam em utilizar a priorização de forma inteligente em categorias que prestam serviços à população de transmissão de informações e troca de dados. Além disso, as subcategorias identificadas nos estudos incluídos são Rede de Infraestrutura de TI e Rede de Telecomunicações, ou seja, redes que possuem conteúdos em constante evolução e que precisam de bastante pesquisa, como por exemplo, seleção de rede *wireless* (CHARILAS et al., 2009) e (GOYAL; KAUSHAL; SANGAIAH, 2018).

Logo após a categoria Comunicação está a de Transporte, com pouco mais de 13%. Esse resultado não coincidiu com as expectativas dos participantes dessa RSL e foi muito negativo, pois essa categoria de infraestrutura é extremamente importante para o transporte e locomoção de mercadorias e pessoas de um local para outro, fazendo com que a economia mundial seja movimentada (RODRIGUES; RABELO, 2017). As informações geradas por esses resultados apontam para uma grande carência no desenvolvimento de pesquisas nessa categoria de infraestrutura.

Infelizmente, a representatividade da categoria Indústria não é significativa nos estudos identificados, com aproximadamente 2,4%. Assim como na categoria Transporte, o resultado na categoria Indústria não correspondeu com aguardamento dos participantes dessa RSL. Esse resultado evidencia que muitos profissionais e pesquisadores dessa categoria de infraestrutura desconhecem as vantagens que estão atreladas a priorização inteligente na área de gestão de ativos. Algumas dessas vantagens podem ser conferidas através dos trabalhos de (KUMAR; CHATURVEDI, 2011), (PATIL; KANT, 2014), (PRIETO, 2014) e (CHONG et al., 2019).

QP4: Quais áreas de competência técnica da gestão de ativos usam priorização inteligente?

Resultados

A finalidade dessa questão de pesquisa foi identificar as áreas de competência técnica que a gestão de ativos engloba e que empregam priorização inteligente. A classificação dessas áreas identificadas nos estudos foi definida de acordo com: (ISO-55000, 2014), (HASTINGS, 2015) e suas atualizações (HASTINGS, 2021).

Segundo os trabalhos mencionados anteriormente, a gestão de ativos envolve diversos segmentos diferentes devido a isso, a ISO 55 000 salienta que as áreas de competência que compõem a gestão de ativos não se limitam apenas as que são listadas no seu anexo A. (HASTINGS, 2015) e suas atualizações (HASTINGS, 2021) complementa citando alguns exemplos das áreas de competência técnica que a gestão de ativos abrange. Algumas dessas áreas foram identificadas nos estudos incluídos e são discutidas a seguir.

Conforme os resultados exibidos na Figura 19 a área de competência técnica que mais se destaca é a Gestão de Manutenção (GM) (73,17%, 60 estudos). Em sequência, Gestão de Dependabilidade (GD) (41,46%, 34 estudos). Posteriormente, Gestão de Qualidade (GQ) (21,95%, 18 estudos). Finalmente, Gestão de Risco (GR) (8,54%, 7 estudos).

Figura 19 – Ocorrência das áreas de competência técnica da gestão de ativos

GR	GQ	GM	GD
8.54%	21.95%	73.17%	41.46%

Fonte: A autora

A Tabela 30 apresenta mais detalhes sobre os estudos de acordo com a identificação das áreas de competência técnica da gestão de ativos. Assim, esta Tabela exhibe as seguintes colunas: o nome da área de competência técnica, a identificação dos estudos, a quantidade de estudos por área de competência e a porcentagem de estudos em cada área. Interessante destacar que pode ter sido detectado em um mesmo estudo mais de uma área de competência técnica portanto, a soma das porcentagens pode ser maior que 100%.

Tabela 30 – Distribuição dos estudos por área de competência da gestão de ativos

Área de competência	Estudos	Qtd.	%
Gestão de Manutenção (GM)	d1, d2, d4, t5, d6, d7, t8, t9, d10, t11, t12, d13, d14, d15, t16, d17, d19, d20, d21, d22, d25, d27, d28, t29, t30, t31, t32, t33, s35, s36, s37, s38, s39, s49, s54, s55, s56, s57, s58, s59, s60, s61, s62, s63, s64, s65, s66, s68, s69, s70, s71, s72, s73, s74, s75, s76, s78, s79, s80, s82	60	73,17
Gestão de Dependabilidade (GD)	d3, t5, t12, d13, d14, t16, d18, d19, d21, d23, t24, t26, t29, s38, s39, s40, s41, s42, s43, s44, s45, s46, s47, s48, s49, s50, s51, s52, s53, s54, s64, s67, s75, s77	34	41,46
Gestão de Qualidade (GQ)	t5, t6, d18, d19, d23, t24, d25, d34, s37, s41, s42, s44, s52, s54, s67, s71, s75, s77	18	21,95
Gestão de Risco (GR)	s7, s46, s56, s60, s61, s65, s81	7	8,54

Fonte: A autora

Análise e discussão

Os resultados desta questão de pesquisa mostram que a priorização inteligente é utilizada por um quantitativo muito reduzido (apenas 4) de áreas de competência técnica da gestão de ativos. Presumisse que isso aconteça porque muitos profissionais da indústria e da academia possuem o estigma de que a priorização é um procedimento exclusivamente manual, caro e demorado. Esse fato causa uma grande escassez de estudos nessa área (SILVEIRA et al., 2020). Apesar disso, existe um interesse crescente em evoluir essa área de pesquisa, como será analisado e discutido a diante.

Entre as poucas áreas de competência técnica da gestão de ativos identificadas, a GM é a área com maior frequência de acordo com os estudos incluídos, apresentando pouco mais de 73%. Na verdade, este resultado já era esperado, uma vez que esta área de competência causa grande impacto nas organizações, especialmente quando é realizada sem qualidade pois, isso frequentemente gera atraso no cronograma, perdas de produção, reclamações dos usuários, entre outros (CASTRO, 2017) e (TRIVELLA et al., 2021). Não é raro organizações serem afetadas negativamente, com perdas financeiras e custos indiretos, quando precisam realizar operações de manutenção em seus ativos físicos, como instalação ou substituição, principalmente quando estes ativos precisam ser temporariamente desligados ou desati-

vados (TRIVELLA et al., 2017). Importante destacar que, mesmo com o crescente avanço nesse campo de pesquisa, acredita-se que ainda existem diversas lacunas na literatura que a priorização inteligente na área de gestão de ativos poderia ajudar a mitigar.

O Gestão de Dependabilidade (GD) é a segunda área de competência técnica da gestão de ativos mais retratada pelos estudos, com aproximadamente 41,5%. Este resultado também era esperado porque, assim como a GM, esta área de competência também é bastante crítica pois, afeta diretamente a produção e as operações financeiras das empresas (PAHL, 2021). Caso o serviço ou produto oferecido pela organização não estiver disponível ou não for confiável, por exemplo, o consumidor ficará impossibilitado de utilizá-lo, gerando diversas consequências danosas para os negócios e para a visibilidade da companhia (PAHL, 2021).

A área de competência técnica Gestão de Qualidade (GQ) apresenta representatividade inesperada com quase 22% dos estudos. Esse resultado não coincidiu com as expectativas contudo, foi muito positivo e promissor pois, mostra que os pesquisadores buscam iniciativas de incorporar medidas que auxiliem na análise de alternativas, critérios e tomada de decisões para elevar o padrão dos processos, serviços e produtos oferecidos.

Diferentemente das área de competência anteriores, os resultados da GR apontaram para uma baixa representação no estudos incluídos, com aproximadamente 8,5%. Os participantes dessa RSL não esperavam esse resultado porque essa área de competência é um componente essencial de todo o processo de gestão de ativos. Afinal, além de ser necessário cumprir a legislação vigente, é imprescindível otimizar e priorizar ações racionais a partir de diversos critérios, como custos, riscos e tempo gasto na manutenção (ZAMPOLLI MARISA E ASSOCIATION, 2018). Por causa desses fatores, acredita-se ser muito importante desenvolver abordagens de priorização inteligente para auxiliar na análise de decisões que envolvam riscos na área de gestão de ativos.

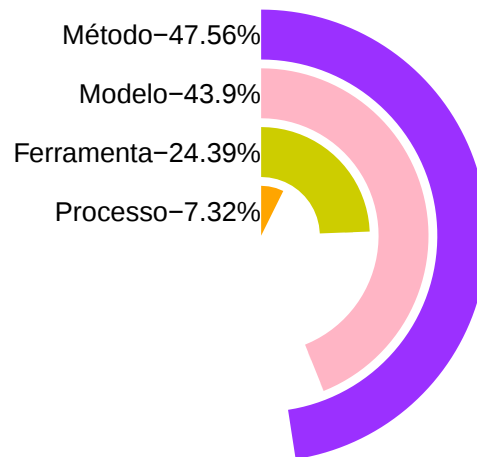
QP5: Quais tipos de contribuições são propostas pelos estudos para resolver problemas de gestão de ativos através da priorização inteligente?

Resultados

A finalidade dessa questão de pesquisa foi identificar quais são os tipos de contribuições produzidas pelos estudos que auxiliam a solucionar problemas de gestão de ativos por meio da aplicação da priorização inteligente. É relevante destacar que a classificação das contribuições baseou-se nos trabalhos de (PETERSEN et al., 2008), (DERMEVAL et al., 2016) e (CICO et al., 2021).

De acordo com os resultados exibidos na Figura 20 o tipo de contribuição que mais se destaca é a Método/Metodologia (47,56%, 39 estudos). Posteriormente, Modelo (43,90%, 36 estudos). Em sequência, Ferramenta (24,39%, 20 estudos). Finalmente, Processo (7,32%, 6 estudos).

Figura 20 – Ocorrência dos tipo de contribuição



Fonte: A autora

Mais detalhes são exibidos na Tabela 31, sobre os estudos de acordo com os tipos de contribuições identificadas. Assim, esta Tabela exibe as seguintes colunas: o tipo de contribuição, a identificação dos estudos, a quantidade de estudos por tipo de contribuição e a porcentagem de estudos em cada tipo de contribuição. Interessante destacar que pode ter sido detectado em um mesmo estudo mais de um tipo de contribuição portanto, a soma das porcentagens pode ser maior que 100%.

Tabela 31 – Distribuição dos estudos por tipo de contribuição

Contribuição	Estudos	Qtd.	%
Método/Metodologia	d1, d4, t9, t12, d15, d19, d21, d22, t24, d25, t26, d27, d28, t29, t30, t32, d34, s35, s39, s40, s41, s42, s43, s44, s50, s51, s53, s56, s58, s60, s61, s62, s63, s66, s68, s70, s75, s78, s82	39	47,56
Modelo	d3, t5, d6, d7, t8, t9, t11, d13, d14, t16, d17, d18, d20, d23, d25, t31, t33, s36, s37, s38, s45, s46, s47, s48, s49, s56, s59, s71, s72, s73, s74, s76, s77, s79, s80, s81	36	43,90
Ferramenta	d1, d2, d4, t5, d10, d15, t16, d19, t24, t29, t30, t31, s37, s38, s55, s67, s68, s69, s70, s75	20	24,39
Processo	s52, s54, s57, s64, s65, s67	6	7,32

Fonte: A autora

Análise e discussão

Os resultados indicam que os tipos de contribuições (Método/Metodologia e Modelo), propostas por estudos para resolver problemas de gestão de ativos através da priorização inteligente, correspondem a mais de 90% dos estudos identificados. Esse resultado foi bastante positivo porque mostra que muitos estudos que realizam priorizações inteligentes estabelecem alguns procedimentos para a construção e aplicação de suas respectivas propostas na gestão de ativos.

Infelizmente, ao analisar esses procedimentos, foi verificado que os estudos descrevem eles muito superficialmente, sem detalhes e não especificam as etapas de planejamento e execução do processo de priorização inteligente que foi desenvolvido. Lamentavelmente, os participantes dessa RSL já esperavam por esse resultado, principalmente em relação ao tipo de contribuição Modelo, pois muitas tecnologias de IA são baseadas em modelos matemáticos e raramente os estudos que produzem esse tipo de contribuição disponibilizam uma descrição detalhada sobre ela.

Além disso, por volta de 24% dos estudos incluídos decidiram automatizar suas contribuições (Método/Metodologia, Modelo e Processo) por meio do uso de alguma ferramenta. Os participantes dessa RSL consideraram essa informação foi uma evidência muito positiva, pois demonstra a preocupação dos pesquisadores com a automatização de suas contribuições e estímulo a sua efetiva utilização. É importante destacar que apenas quatro estudos (d2, d10, s55 e s69) utilizaram ou desenvolveram exclusivamente uma ferramenta como contribuição.

Seis estudos (s52, s54, s57, s64, s65 e s67) apresentaram Processo como tipo de contribuição contudo, apenas um estudo (s67) apresenta um processo estruturado, bem definido e sistemático. Assim, diante dos resultados obtidos, é inegável que esta informação complementa e corrobora o fato de haver uma grande lacuna na literatura relacionada no desenvolvimento de abordagens que especifiquem, em detalhes, as etapas da priorização inteligente na área de gestão de ativos.

QP6: Quais ferramentas são usadas para dar suporte à priorização inteligente na gestão de ativos?

Resultados

A intenção dessa questão de pesquisa foi identificar quais são as ferramentas, acadêmicas e comerciais, que são utilizadas para auxiliar a priorização inteligente na área de gestão de ativos. Foi possível identificar as diferentes ferramentas que são utilizadas a partir dos estudos que possuem o tipo de contribuição ferramenta, conforme os resultados apresentados na Tabela 31 da questão de pesquisa anterior. É relevante destacar que a resposta dessa pergunta foi obtida gradativamente durante a extração dos dados.

A Tabela 32 mostra mais detalhes sobre os estudos de acordo com as ferramentas identificadas que foram utilizadas para dar suporte à priorização inteligente na gestão de ativos. Assim, esta Tabela exibe as seguintes colunas: o nome da ferramenta, a identificação dos estudos, a quantidade de estudos por ferramenta e a porcentagem de estudos em cada ferramenta.

Conforme os resultados exibidos na Tabela 32, a maioria dos estudos (50%, 10 estudos) menciona apenas que uma ferramenta foi utilizada mas, não fornecem detalhes sobre ela, tais como: o nome da ferramenta, se é *web* ou *desktop*, se é gratuita ou comercial, se foi desenvolvida pelos autores ou foi comprada. Por outro lado, os estudos que especificaram as ferramentas usadas foram analisados mais cuidadosamente para extração das informações. Assim, os resultados também mostram que as ferramentas SADTRAFOS (10%, 2 estudos) e EPANET (10%, 2 estudos) e APRIORI (10%, 2 estudos) têm a mesma representatividade. De forma semelhante acontece com as ferramentas SINAP (5%, 1 estudo), EXPERT (5%, 1 estudo), EDSP (5%, 1 estudo) e UbiPaPaGo (5%, 1 estudo).

Tabela 32 – Distribuição dos estudos por ferramenta

Ferramenta	Estudos	Qtd.	%
Os estudos não especificam o nome	d1, d4, t5, d10, t16, t24, t29, t30, s68, s70	10	50,00
SADTRAFOS	d2, s69	2	10,00
EPANET	s37, s55	2	10,00
APRIORI	d19, s75	2	10,00
SINAP	t31	1	5,00
EXPERT	d15	1	5,00
EDSP	s38	1	5,00
UbiPaPaGo	s67	1	5,00

Fonte: A autora

Após verificar os resultados obtidos com a Tabela 32 os participantes dessa RSL optaram por analisar a relação existente entre os métodos MCDM e as ferramentas desenvolvidas. Essa relação pode ser visualizada na Tabela 33. Importante destacar que a maioria dos estudos que utilizavam ferramentas não especificavam nenhum método MCDM por isso apenas dois métodos MCDM da Tabela 26 estão presentes na Tabela 33.

Segundo os resultados mostrados na Tabela 33 as ferramentas que não são especificadas pelos estudos utilizam os métodos MCDM AHP e PROMETHEE correspondendo a uma quantidade muito pequena dos estudos incluídos (75%, 3 estudos). Finalmente, a ferramenta UbiPaPaGo utiliza os métodos MCDM AHP e TOPSIS e é abordada por uma

representatividade única nos estudos incluídos (25%, 1 estudo).

Tabela 33 – Distribuição dos estudos por ferramenta e método MCDM

Ferramenta	Método MCDM	Estudos	Qtd.	%
Os estudos não especificam o nome	PROMETHEE	d1, s68	2	50,00
	AHP	t30	1	25,00
UbiPaPaGo	AHP, TOPSIS	s67	1	25,00

Fonte: A autora

Análise e discussão

Os resultados desta questão de pesquisa mostram que um número razoável de estudos incluídos nessa RSL (20 estudos) desenvolveram ou utilizaram alguma ferramenta para auxiliar à priorização inteligente na área de gestão de ativos. Esse resultado foi bastante positivo pois, mostra uma preocupação dos pesquisadores em disseminar, flexibilizar e facilitar o uso das contribuições propostas pelos estudos para resolver problemas de gestão de ativos através da priorização inteligente.

Os resultados mostraram que nos estudos que tiveram contribuição do tipo Ferramenta, a área de competência que mais se destacou foi GM sendo referenciada por quase todos os estudos (18 estudos). Somente dois estudos (t24, s67) não aplicaram priorização inteligente na área de competência técnica GM, eles empregaram priorização inteligente nas áreas de competência GD e GQ.

Supõe-se que esse fato tenha ocorrido devido a necessidade da GM de adotar ferramentas que apoiem o gerente ou tomador de decisão em determinadas ações, tais como, verificação de quais tarefas de manutenção devem ser executadas primeiro, quais critérios devem ser utilizados para selecionar os ativos físicos para manutenção, quais são os custos associados com o desligamento dos ativos físicos que estão na manutenção, entre outros.

Assim como a área de competência GM, a categoria de infraestrutura Energia também foi a que mais se sobressaiu nos estudos que tiveram contribuição do tipo Ferramenta, sendo referenciada pela grande maioria dos estudos (17 estudos). Apenas três estudos (t5, s38, s67) não empregaram priorização inteligente na categoria de infraestrutura Energia, eles utilizaram priorização inteligente nas categorias Comunicação e Transporte. Interessante mencionar que os estudos que abordaram a categoria Energia incluíram a subcategoria Rede Dutoviária unicamente em 4 estudos (d10, t16, s37, s55). Já a subcategoria Rede de Energia Elétrica foi incluída em todos os outros 13 estudos.

Os participantes dessa RSL já esperavam por esse resultado pois, acredita-se que Energia é um dos setores de infraestrutura mais importantes para a economia de um país. Sem Rede de Energia Elétrica, possivelmente, a sociedade moderna teria muitas dificuldades

para progredir com suas atividades (NETO; CASTRO, 2021). Essa subcategoria abastece várias cidades em todo o mundo através de toda uma malha complexa que atua em conjunto para gerar, transmitir e distribuir eletricidade (GRIGSBY, 2007). A Rede Dutoviária também abastecem várias cidades por meio da condução de produtos, muitas vezes inflamáveis e perigosos, ao longo de diversos quilômetros de extensão (RAMÍREZ-CAMACHO et al., 2017) e (GAZPROM, 2015). Falhas em alguma dessas redes podem representar perdas significativas de produção, financeiras e talvez até humanas. Presume-se que, por esses motivos, esses setores estão em constante evolução e muitos pesquisadores trabalham para aprimorar a priorização inteligente na área de gestão de ativos nessas categorias e subcategorias.

É revelante observar o interesse dos pesquisadores (mesmo que pequeno) em desenvolver estudos nas categorias de infraestrutura Comunicação e Transporte. Esse resultado superou as expectativas de forma muito positiva pois, mostra que nas subcategorias Rede de Infraestrutura de Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC), de Telecomunicações e Transporte Ferroviário, também existe um desejo de compreender e aplicar a priorização inteligente na área de gestão de ativos.

Um resultado negativo está no fato de só quatro tecnologias de IA (AG, SF, AE e SE), das nove identificadas nesta revisão, são aplicadas nos estudos que tiveram contribuição do tipo Ferramenta. Supõe-se que essas quatro tecnologias são mais frequentemente utilizadas nas ferramentas devido a sua grande popularidade no ambiente acadêmico e profissional, abundância de materiais de pesquisa na literatura e diversas implementações disponíveis de algoritmos dessas tecnologias em linguagens de programação diferentes.

Importante salientar que nenhum estudos que tiveram contribuição do tipo Ferramenta referenciou os métodos MCDM TOPSIS e ELECTRE. Essa mesma ausência ocorreu com a área de competência técnica GR e a categoria de infraestrutura Indústria, assim como as subcategorias Transporte Rodoviário, Aéreo e Marítimo. De forma semelhante aconteceu com as tecnologias de IA RNA, IE, ANS, IAD e RB. Esse evento mostra que existe uma grande escassez de ferramentas que suportem a priorização inteligente em vários segmentos da gestão de ativos. Essa é uma grande oportunidade para o desenvolvimento de pesquisas e ferramentas nesses campos.

Infelizmente, 50% dos estudos que tiveram contribuição do tipo Ferramenta (10 estudos) não especificam detalhes sobre ela (nem mesmo o nome), tornando muito difícil de identificá-la. Por outro lado, foi feita uma análise nos estudos que especificavam suas ferramentas com mais detalhes e, foi constatado que nenhuma delas estavam incluídas na lista dos *softwares* com MCDM disponibilizada pela *International Society on MCDM*. Essa lista é mantida por uma entidade internacional voltada a pesquisas na área de MCDA. Ela relaciona vários *softwares* que são utilizados no processo de MCDA e classifica-os em três categorias, são elas, gratuito, semi-comercial e comercial. Além disso, a lista disponibilizada pela *International Society on MCDM* pode ser acessada através do endereço

eletrônico <<https://www.mcdmsociety.org/content/software-related-mcdm-0>>.

Apesar de ser identificada uma grande lacuna na literatura de ferramentas que suportem a priorização inteligente na área de gestão de ativos, é preciso realizar um movimento de transformação desse cenário.

QP7: Quais etapas das contribuições propostas pelos estudos são mencionadas?

Resultados

O objetivo desta questão de pesquisa foi identificar quais são os diferentes estágios que constituem as contribuições propostas pelos estudos para a priorização inteligente na área de gestão de ativos. Para respondê-la primeiramente foi necessário analisar e identificar os estudos incluídos a fim de reconhecer se e quais deles especificavam as etapas das suas respectivas contribuições.

Os participantes dessa RSL também consideraram necessário classificar os estudos baseando-se na análise do grau de detalhamento das etapas descritas em cada estudo, assim optou-se por estabelecer as seguintes categorias: *não*, *parcialmente* e *sim*. Desta forma, tiveram alguns estudos que foram classificados como *não* porque eles só citaram as etapas que realizaram na priorização inteligente no contexto da gestão de ativos. Em contra partida os estudos que foram classificados como *sim* descrevem detalhadamente as etapas. Finalmente, alguns estudos foram classificados como *parcialmente* porque eles só mencionarem muito superficialmente suas etapas.

A Tabela 34 mostra um resumo sobre o levantamento de estudos que especificam as etapas das contribuições produzidas. Assim, esta Tabela exibe as seguintes colunas: a categorização dos estudos conforme o grau de detalhamento das etapas, a identificação dos estudos, a quantidade de estudos que especificam as etapas da priorização inteligente dentro do contexto da gestão de ativos e a porcentagem de estudos de acordo com as categorias.

Observa-se na Tabela 34 que a maioria dos estudos não especificam as etapas (53,66%; 44 estudos), além do mais uma quantidade significativa de estudos especificam apenas parcialmente (35,37%; 29 estudos), com alguns poucos estudos que especificam de forma mais minuciosa (10,98%; 9 estudos).

Tabela 34 – Distribuição dos estudos que especificam as etapas das contribuições

Especifica as etapas	Estudos	Qtd.	%
Não	d2, d3, d4, t5, t8, t9, d10, d13, d17, d20, d22, d23, t24, d25, d27, d28, t29, t32, s35, s36, s41, s42, s43, s44, s45, s47, s48, s51, s53, s55, s57, s58, s60, s65, s69, s70, s72, s73, s76, s77, s78, s80, s81, s82	44	53,66

Parcialmente	d6, d7, t11, t12, d14, d15, t16, d18, d21, t26, t30, t31, t33, d34, s37, s38, s39, s40, s49, s50, s54, s61, s62, s63, s64, s66, s71, s74, s79	29	35,37
Sim	d1, d19, s46, s52, s56, s59, s67, s68, s75	9	10,98

Fonte: A autora

Importante salientar que alguns dos estudos que especificam de maneira mais minuciosa as etapas das suas contribuições (10,98%; 9 estudos), também especificam uma ou mais métodos MCDM. Assim, com esse conjunto de estudos identificados, será apresentada uma descrição breve das etapas das contribuições produzidas por cada um deles, juntamente com o(s) método(s) MCDM caso ele especifique.

Os estudos d1 e s68 propõem, primeiramente, verificar a partir de métodos de análise quais foram os defeitos evidenciados, para posteriormente analisar o equipamento. A partir disso, é realizada a identificação das alternativas e suas associações com os métodos de análise, só então são determinados os critérios que serão utilizados. O objetivo é empregar um sistema de inferência *fuzzy* para calcular a severidade de cada modo de falha detectado e finalmente aplicar o método MCDM PROMETHEE.

Os estudos d19 e s75, por outro lado, propõem identificar redes de baixa tensão com algum problema operacional ou cujos clientes tenham feito reclamações, para posteriormente analisar cuidadosamente as melhorias de acordo com: planejamento, critérios, investimento, níveis de tensão, perdas, confiabilidade e reclamação do cliente. Com base nessas informações, é criado um banco de dados de melhorias com todas as melhorias necessárias ao sistema de distribuição elétrica. Posteriormente, os investimentos são priorizados, considerando requisitos legais, multas por não conformidade, custo das perdas e disponibilidade de recursos. Finalmente, é feita uma lista de todas as melhorias. O método MCDM aplicado não é especificado.

S46 mostra um processo mais detalhado, com etapas muito claras e definidas. Primeiro, alternativas, critérios e tomadores de decisão são especificados. Em seguida, são avaliados os pesos dos tomadores de decisão, os pesos dos critérios e as alternativas. Adiante, ocorre a unificação das opiniões dos tomadores de decisão, para só então agregar as alternativas e padronizar os valores. A melhor alternativa é então selecionada e a medida de consenso entre os tomadores de decisão é feita para finalmente, selecionar a alternativa final. Assim como os estudos anteriores (d19 e s75) o s46 também não especifica o método MCDM aplicado.

No estudo s52, a primeira etapa é ler todos os atributos de rede na faixa e calcular o peso com base na classe de tráfego. Assim, é possível prever a intensidade do sinal recebido e normalizar os atributos usando a tecnologia de IA SF. Posteriormente, são aplicados métodos MCDM e, por fim, é feita uma lista com todas as alternativas. Os

métodos MCDM utilizados são AHP e TOPSIS.

S56 propõe, em primeiro lugar, definir o objetivo desejado, por exemplo reparar um ativo físico, realocar um ativo físico. Em seguida, é orientado aplicar todas as restrições e otimizações. Adiante são verificados quais são os ativos de maior risco. Depois disso, ocorre a priorização e, finalmente, uma solução é recomendada. O método MCDM utilizado é AHP.

Assim como o estudo s46, o estudo s59 também apresenta um processo mais minucioso, com etapas muito distintas e evidentes. Primeiramente, são definidos os objetivos a serem alcançados, depois cada alternativa relacionada aos objetivos propostos é identificada. Em seguida, os critérios para cada alternativa são determinados. A partir disso, uma árvore hierárquica é estruturada para cada alternativa. Posteriormente, todos os dados e alternativas para cada objetivo são analisados em pares. Finalmente, a melhor alternativa para cada objetivo é selecionada. Assim como os estudos s52 e s56, o método MCDM utilizado também é AHP.

Tal como acontece com os estudos s46 e s59, em s67 também exibe um processo mais meticuloso em comparação com os estudos descritos anteriormente. Primeiramente, é estruturada uma árvore hierárquica com as alternativas, em seguida, o peso de cada alternativa é calculado. Depois disso, os pesos são integrados para construir e normalizar uma matriz de contexto. A partir disso, os pesos dos atributos são configurados e as soluções determinadas como positivas ou negativas. Finalmente, a priorização é realizada e os resultados são alcançados. Assim como os estudos s52, os métodos MCDM utilizados são AHP e TOPSIS.

Análise e discussão

Os resultados desta pergunta de pesquisa mostram que foi identificada uma pequena quantidade de estudos que especificam as etapas das contribuições produzidas, menos de 10. Isto ocorre porque muitas vezes os estudos não descrevem ou descrevem muito superficialmente o procedimento que foi adotado para se obter determinado resultado, conforme apresentado na Tabela 34.

Entre os nove estudos que especificam suas etapas, apenas o estudo s52 não determina os critérios de priorização. Apesar disso, os estudos que especificam suas etapas não indicam claramente os critérios que utilizam em seu processo, apenas o estudo s56 estabelece que os critérios de priorização são os ativos de maior risco. Portanto, entende-se que os critérios são determinados no momento da priorização de acordo com a necessidade específica da gestão de ativos e também pode ser fortemente influenciado pelo método MCDM selecionado.

O papel do tomador de decisão é mencionado explicitamente apenas no estudo s46, ou seja, um estudo de nove que especificam as etapas das contribuições produzidas. Um fato semelhante também ocorreu com critérios e atribuição de pesos a possíveis soluções

e tomadores de decisão, citados diretamente só nos estudos s46, s52 e s67. Supõe-se que essa escassez de detalhamento no processo de priorização ocorra porque muitas vezes ela é realizada pelos pesquisadores e profissionais da indústria de forma *ad-hoc*, sem um processo bem definido e sistemático.

Os estudos s46, s59 e s67 superaram as expectativas dos participantes dessa RSL pois, apresentaram um processo estruturado, bem definido, metódico e possivelmente aplicável a outras situações no contexto da gestão de ativos, correspondendo aos estudos mais organizados e sistemáticos dentro do total de estudos identificados que especificaram as etapas das suas contribuições.

Assim, conforme demonstrado nos parágrafos anteriores e na Tabela 34, é notável a escassez de métodos, metodologias, modelos, processos, diretrizes, guias e procedimentos estruturados, sistemáticos e com etapas definidas para a priorização inteligente na área de gestão de ativos. Os resultados sugerem que este ramo de pesquisa precisa ser mais desenvolvido porque uma quantidade significativa de todos os estudos incluídos nesta revisão (cerca de 53%) não especificam as etapas das suas contribuições ou especificam parcialmente de forma muito superficial (aproximadamente 35%), restando apenas alguns estudos (quase 11%) que descrevem de forma clara e detalhada as etapas que são utilizadas por suas contribuições para aplicar a priorização inteligente no contexto de gestão de ativos.

QP8: Quais métodos empíricos são utilizados para analisar as contribuições propostas pelos estudos?

Resultados

A proposta dessa questão de pesquisa foi identificar quais são os diferentes tipos de métodos empíricos empregados para examinar as contribuições propostas pelos estudos. Importante salientar que a classificação desses métodos baseou-se nos trabalhos de (EASTERBROOK et al., 2008) e (MALHOTRA, 2016) e suas atualizações (MALHOTRA, 2019).

A Tabela 35 mostra em detalhes os estudos de acordo com os métodos empíricos aplicados nas contribuições propostas pelos estudos. Assim, esta Tabela exhibe as seguintes colunas: resultado da avaliação da contribuição do estudo, método empírico aplicado, identificação dos estudos, quantidade de estudos por método empírico e porcentagem de estudos em cada tipo de método. Interessante salientar que pode ter sido detectado em um mesmo estudo mais de um método empírico portanto, a soma das porcentagens pode ser maior que 100%.

Segundo os resultados exibidos na Tabela 35 os métodos empíricos que mais se destacam são Estudo de caso (46,34%, 38 estudos) e Experimento (39,02%, 32 estudos), ambos com o resultado positivo. Posteriormente, alguns estudos também apresentaram resultado positivo porém, não especificavam o tipo de método empírico usado (14,63%, 12 estudos).

Finalmente, foi identificado um estudo que empregou o tipo de método empírico Pesquisa de opinião e obteve resultado negativo (1,22%, 1 estudo).

Tabela 35 – Distribuição dos estudos por método empírico

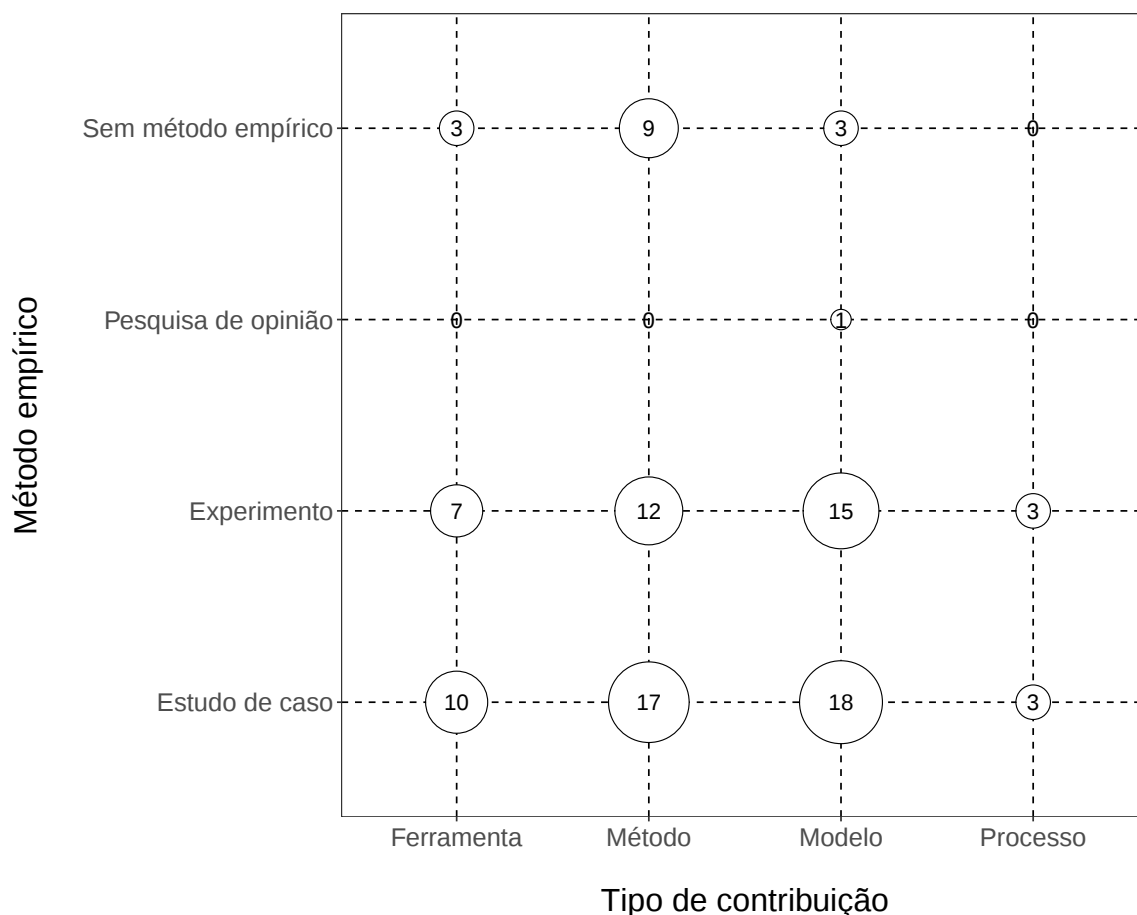
Resultado da contribuição	Método empírico	Estudos	Qtd.	%
Positivo com método empírico	Estudo de caso	d1, d2, t5, d7, t8, t9, t11, d14, d19, d20, t24, t26, d28, t31, d34, s36, s37, s43, s45, s46, s47, s48, s50, s56, s57, s58, s60, s61, s62, s63, s64, s65, s68, s69, s73, s74, s75, s76	38	46,34
	Experimento	d3, d4, d6, d7, t8, d10, d15, t16, d18, d21, d22, d23, d27, t29, t33, s40, s44, s49, s51, s52, s53, s54, s67, s70, s71, s72, s77, s78, s79, s80, s81, s82	32	39,02
Positivo sem método empírico	-	t12, d13, d25, t30, t32, s35, s38, s39, s41, s42, s55, s66	12	14,63
Negativo com método empírico	Pesquisa de opinião	s59	1	1,22

Fonte: A autora

Análise e discussão

Com o objetivo de melhor analisar os resultados obtidos optou-se por apresentar na Figura 21 um gráfico bolhas distribuído em duas dimensões, são elas: método empírico utilizado (eixo Y) e tipo de contribuição produzida pelos estudos (eixo X). Este gráfico denota a relação entre as duas dimensões. O tamanho e o número dentro de uma bolha representam a quantidade de estudos que utilizam um método empírico específico com um tipo de contribuição específico.

Figura 21 – Gráfico bolha das dimensões Tipo de contribuição e Método empírico



Fonte: A autora

Estudo de caso é o tipo mais frequente de método empírico abordado pelos estudos identificados nesta revisão (38 estudos). Este tipo de método tem representatividade em todos os tipos de contribuições inclusive, uma parte significativa dos estudos focam no desenvolvimento de Método/Metodologia e Modelo, sendo o segundo com valor levemente menor do que o primeiro. Acredita-se que isso ocorra devido a crescente busca dos pesquisadores em examinarem suas contribuições com cenários reais da indústria.

De forma semelhante a Estudo de Caso, o método empírico Experimento também está presente em uma quantidade significativa de estudos (32 estudos) e também é utilizado em todos os tipos de contribuições produzidas pelos estudos sendo, o maior destaque em Método/Metodologia e Modelo, com o segundo apresentando um valor ligeiramente menor do que o primeiro. Da mesma forma como ocorre em Estudo de caso, supõe-se que esse evento aconteça porque os pesquisadores estão buscando utilizar dados de projetos reais da indústria para avaliar suas contribuições.

Os resultados sem método empírico são abordados por uma quantidade razoável de estudos (12 estudos), apresentando maior ênfase no tipo de contribuição Método/Metodologia. Já as contribuições Ferramenta e Modelo são utilizados na mesma proporção e,

por outro lado não foi identificado nenhum estudo que tenha produzido o tipo de contribuição Processo sem método empírico. Os participantes dessa RSL não esperavam que tivessem estudos incluídos que não especificariam o tipo de método empírico usado. Essa fato torna mais difícil a extração de informações. Acredita-se ser importante que os estudos sejam o mais detalhado possível para que esses possam ser mais facilmente entendíveis e reproduzíveis.

O tipo de avaliação Pesquisa de Opinião teve o pior desempenho pois, exclusivamente, o estudo s59 aplicou este tipo de método empírico e obteve resultado negativo. Além disso, este mesmo estudo apresentou o tipo de contribuição Modelo. É relevante mencionar que o autor desse estudo salienta que por questões de tempo foi preciso finalizar a análise dos resultados antes que todas as respostas fossem retornadas para ele. Possivelmente esse fato influenciou no resultado negativo que o autor obteve.

Diante da análise dos resultados obtidos nessa questão de pesquisa, é possível observar uma notável ausência de métodos/metodologias, *frameworks*, lições aprendidas, modelos, processos, diretrizes, guias e procedimentos que apoiem o planejamento e a execução da priorização inteligente na área de gestão de ativos. Inclusive, os tipos de contribuição Ferramenta e Processo e, o método empírico Pesquisa de opinião, são pouquíssimo explorados nos estudos incluídos nessa revisão.

Acredita-se que o desenvolvimento de uma abordagem detalhada e sistemática seja de fundamental importância para auxiliar a priorização inteligente na área de gestão de ativos, pois tal abordagem nortearia a aplicação da priorização no contexto de gestão de ativos, com apoio de métodos MCDM e de tecnologias de IA. Até o momento, nenhuma abordagem com as características descritas acima foi identificada na literatura.

QP9: Quais organizações apoiaram as contribuições produzidas pelos estudos?

Resultados

A finalidade dessa questão de pesquisa foi listar todas as organizações que ajudaram direta ou indiretamente a desenvolver, aplicar ou avaliar as contribuições produzidas pelos estudos. É importante salientar que assim como algumas das questões de pesquisa anteriores, a resposta dessa pergunta também foi obtida gradativamente durante a extração dos dados.

Para responder essa questão de pesquisa primeiramente foi necessário analisar e identificar os estudos selecionados a fim de reconhecer se e quais deles tiveram apoio de alguma organização.

Assim, a Tabela 36 mostra um resumo sobre os estudos que tiveram colaboração de alguma organização. Portanto, esta Tabela exhibe as seguintes colunas: teve apoio de alguma organização (sim ou não), identificação dos estudos, quantidade de estudos que tiveram colaboração e porcentagem de estudos de acordo com a coluna anterior de quantidade.

Com a Tabela 36 é possível verificar que a maioria dos estudos não especificam se receberam apoio, direta ou indiretamente, no desenvolvimento, aplicação ou avaliação das suas contribuições (76,83%; 63 estudos), restando uma quantidade reduzida de estudos que especificam que receberam apoio de alguma organização (25,32%; 20 estudos).

Tabela 36 – Quantidade de estudos que tiveram apoio de alguma organização

Teve apoio de alguma organização	Estudos	Qtd.	%
Não	d3, d4, t5, d6, d10, t12, d13, d14, t16, d18, d20, d21, d22, d23, d25, t26, d27, t29, t30, t31, t32, t33, s35, s36, s37, s38, s39, s40, s41, s42, s44, s46, s47, s49, s51, s52, s53, s54, s55, s56, s57, s58, s59, s60, s61, s62, s63, s64, s65, s66, s67, s70, s71, s72, s73, s75, s76, s77, s78, s79, s80, s81, s82	63	76,83
Sim	d1, d2, d7, t8, t9, t11, d15, d17, d19, t24, d28, d34, s43, s45, s48, s50, s68, s69, s74	19	23,17

Fonte: A autora

A partir do reconhecimento dos estudos que tiveram ajuda de alguma organização foi possível identificar quais foram as organizações que apoiaram as contribuições produzidas pelos estudos. A Tabela 37 mostra em detalhes as organizações de acordo com suas características. Assim, esta Tabela exibe as seguintes colunas: o nome da organização, a sigla da organização (caso possua), a personalidade jurídica, o segmento que atua e área do setor elétrico (caso seja uma organização do setor elétrico). Essa última coluna é preenchida com os valores: geração, transmissão ou distribuição.

Segundo os resultados exibidos na Tabela 37 dezessete organizações contribuíram para apoiar os estudos incluídos nesta RSL. Interessante destacar que as organizações são de segmentos bastante diversificados, tais como: setor elétrico, educacional e empresa de tecnologia da informação.

Tabela 37 – Organizações que apoiaram as contribuições produzidas pelos estudos

Organização	Sigla	Personalidade Jurídica	Segmento	Áreas do Setor Elétrico
Eletronorte	-	sociedade de economia mista	setor elétrico	geração e transmissão
Companhia Hidrelétrica do São Francisco	CHESF	sociedade anônima de capital aberto	setor elétrico	geração e transmissão

International Electrotechnical Commission	IEC	internacional	organização internacional de padronização	-
Northern Technology & Testing	NTT	internacional	setor elétrico	-
Companhia Energética do Ceará	COELCE	sociedade anônima de capital aberto	setor elétrico	distribuição
Roy Billinton Test System	-	internacional	educacional	-
Empresa de distribuição de energia elétrica do estado de São Paulo	-	não informado	setor elétrico	distribuição
Empresa Energética do Mato Grosso do Sul	ENERSUL	não informado	setor elétrico	distribuição
Sistema Interligado Nacional	SIN	não informado	setor elétrico	transmissão
Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia	COELBA	sociedade anônima de capital aberto	setor elétrico	distribuição
Companhia Energética de Pernambuco	CELPE	sociedade anônima de capital aberto	setor elétrico	distribuição
Universidade Federal de Lavras	UFLA	público educacional	-	-
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais	CEFET-MG	público educacional	-	-
Alcan Hidroelétrica	-	internacional	setor hidroelétrico	-
SuoJia	-	internacional	empresa de TI	-
Projeto de Transferência de Água Sul-Norte da China	SNWT	internacional	setor hidráulico	-
Budapest University of Technology and Economics	BME	internacional	educacional	-

Fonte: A autora

Análise e discussão

Os resultados mostrados na Tabela 37 indicam que quase 53% das organizações identificadas são do segmento de energia elétrica e dessas 44% são de personalidade jurídica do tipo sociedade anônima de capital aberto. Esse resultado já era esperado devido ao fato de subcategoria de infraestrutura Rede de Energia Elétrica representar quase 50% dos estudos identificados nessa RSL, conforme os resultados apresentados nas Tabelas 28 e 29 da questão de pesquisa QP3.

Também é relevante mencionar que 41% de todas as organizações são internacionais. Esse fato é uma evidência positiva, pois indica que os pesquisadores estão buscando apoio nacional e de outros países para aprimorar seus estudos. Essas organizações internacionais têm sede na: Suíça, Estados Unidos, Canadá, China e Hungria.

Além disso, os resultados também mostram que, dentro das organizações que atuam no segmento de energia elétrica, a área que mais se destaca é a distribuição de energia elétrica. Apesar disso, as áreas de geração e transmissão ficam logo atrás, com uma ligeira diferença.

A Tabela 37 também mostra que, no Brasil, as organizações que mais apoiaram as contribuições produzidas pelos estudos estão localizadas geograficamente nas regiões centro-oeste, sudeste e nordeste, nos estados de: Minas Gerais, São Paulo, Mato Grosso do Sul, Bahia, Ceará e Pernambuco. Dentre os estados citados Minas Gerais possui maior destaque pois, concentra o maior número de organizações. Essa informação corrobora a análise geral dos dados realizada em relação ao local de desenvolvimento dos estudos e a distribuição dos estudos por fonte de publicação, conforme pode ser visualizado no Capítulo 3.

Portanto, os resultados obtidos por meio dessa questão de pesquisa são extremamente promissores uma vez que indicam que existe um interesse crescente por parte dos pesquisadores em buscar avaliar seus estudos fora do contexto nacional e do ambiente acadêmico, proporcionando novas perspectivas. Em contrapartida, também existe uma receptividade positiva por parte das organizações em ajudar os pesquisadores que estão analisando mais detalhadamente essa área específica.

Os participantes dessa RSL acreditam que os resultados obtidos por meio desta questão de pesquisa são extremamente promissores, uma vez que indicam uma preocupação crescente por parte dos pesquisadores em buscar organizações que apoiem as contribuições produzidas pelos seus estudos fora do contexto nacional e do meio acadêmico, proporcionando novas perspectivas. Por outro lado, também existe uma reciprocidade positiva por parte das organizações em ajudar os investigadores a analisar e aplicar a priorização inteligente na área de gestão de ativos.

QP10: Como as organizações apoiaram as contribuições produzidas pelos estudos?

Resultados

O objetivo dessa questão de pesquisa foi apresentar a forma como as organizações ajudaram a desenvolver, aplicar ou avaliar as contribuições produzidas pelos estudos. É importante mencionar que, assim como as questões de pesquisa anteriores, a resposta dessa questão também foi obtida gradativamente durante a extração dos dados.

A Tabela 38 mostra a maneira como as organizações apoiaram as contribuições produzidas pelos estudos. Assim, esta Tabela exhibe as seguintes colunas: o tipo de apoio, o

nome da organização ou sua sigla (caso possua), a identificação dos estudos, a quantidade e a porcentagem de estudos por organização de acordo com o tipo de apoio.

De acordo com as informações extraídas dos estudos que tiveram apoio de alguma organização (19 estudos), foi possível classificar o tipo de apoio fornecido pelas organizações em três categorias, são elas: *disponibilização de uma base de dados com informações técnicas*, *concessão de equipamento* e *permissão para implantar o módulo desenvolvido e integrar com os sistemas já existentes*. Interessante salientar que pode ter sido detectado em um mesmo estudo mais de um tipo de apoio portanto, a soma das porcentagens pode ser maior que 100%.

Conforme os resultados exibidos na Tabela 38 o tipo de apoio que mais se destaca é *disponibilização de uma base de dados com informações técnicas* (73,65%, 14 estudos). Posteriormente, *concessão de equipamento* (26,32%, 5 estudos). Finalmente, *permissão para implantar o módulo desenvolvido e integrar com os sistemas já existentes* (5,26%, 1 estudo).

Tabela 38 – Distribuição dos estudos por organização e tipo de apoio

Tipo de apoio	Organização/Sigla	Estudos	Qtd.	%
Disponibilização de uma base de dados com informações técnicas para os estudos	CHESF	d2, s69	2	10,53
	COELCE	d7	1	5,26
	Roy Billinton Test System	t8	1	5,26
	Eletronorte	t9	1	5,26
	ENERSUL	d15	1	5,26
	SIN	d17	1	5,26
	COELBA	d19	1	5,26
	CELPE	t24	1	5,26
	UFLA	d28	1	5,26
	CEFET-MG	d34	1	5,26
	Alcan Hidroelétrica	s43	1	5,26
	SuoJia	s45	1	5,26
	SNWT	s48	1	5,26
Concessão de equipamento para os estudos	Eletronorte	d1, s68	2	10,53
	Empresa de distribuição de energia elétrica do estado de São Paulo	t11, s74	2	10,53
	BME	s50	1	5,26

Permissão para implantar o módulo desenvolvido e integrar com os sistemas já existentes	Eletronorte	t9	1	5,26
---	-------------	----	---	------

Fonte: A autora

Análise e discussão

Os resultados mostrados na Tabela 38 indicam que foi identificada, em todos os estudos incluídos nessa RSL, a forma como as organizações apoiaram as contribuições produzidas pelos estudos.

Importante salientar que em mais de 76% de todas as organizações o tipo de apoio que mais se destacou foi a *disponibilização de uma base de dados com informações técnicas*. Esse resultado já era esperado devido ao fato de ser o tipo de contribuição de menor custo e impacto para as empresas sendo, muitas vezes necessário um acordo de confidencialidade.

Além disso, mais de 17% de todas as organizações identificadas nessa RSL realizam o tipo de apoio *concessão de equipamento*. Esse fato é uma evidência positiva, pois indica que os pesquisadores buscam avaliar seus estudos de forma prática diretamente nos equipamentos e também, as organizações estão auxiliando os pesquisadores na disponibilização dos equipamentos.

Por outro lado, o tipo de contribuição permissão para implantar o módulo desenvolvido e integrar com os sistemas já existentes corresponde a pouco mais de 5% de todos os estudos identificados nesta RSL. Esse resultado negativo já era esperado devido ao fato de ser o tipo de contribuição de maior risco e consequência para a instituição.

Por outro lado, o tipo de apoio *permissão para implantar o módulo desenvolvido e integrar com os sistemas já existentes* corresponde a pouco mais de 5% de todos os estudos identificados nesta revisão. Esse resultado também já era esperado pelo fato de ser a modalidade de contribuição de maior risco e consequência para as organizações.

Portanto, os resultados obtidos por meio desta questão de pesquisa são bastante promissores, visto que mostram uma relação de colaboração e parceria entre pesquisadores acadêmicos e organizações empresariais.

3.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esse capítulo alcançou o objetivo específico ObjEsp1 por meio da apresentação de uma RSL sobre três áreas bastante diferentes, são elas: priorização, IA e gestão de ativos. A interseção entre essas áreas é o foco de interesse dessa RSL pois, buscou-se investigar como a priorização inteligente é aplicada na área de gestão de ativos. Portanto, a partir

de pesquisas em cinco bibliotecas digitais obteve-se um conjunto inicial de 7.843 estudos. Após a aplicação dos critérios de inclusão e exclusão no título, palavras-chaves e resumo, um total de 1.764 estudos foram selecionados para etapa posterior. Em seguida os critérios de inclusão e exclusão foram aplicados na introdução e conclusão, resultando em 138 estudos selecionados para próxima etapa.

Além disso, os participantes dessa RSL optaram por realizar uma análise das referências citadas nos estudos selecionados até o momento, ou seja, executar *snowballing*. Em vista disso, 494 estudos foram incluídos. Finalmente, foi realizada a leitura completa dos estudos e os critérios de qualidade foram aplicados, decorrendo na seleção de 82 estudos.

Assim, foram analisados 82 estudos que englobaram artigos científicos, dissertações e teses, resultando na caracterização do tema de pesquisa. Com base nesses estudos, foi possível responder a questão de pesquisa principal e todas as dez questões de pesquisa secundárias. Por outro lado, os resultados gerais apresentaram os anos de publicação, contexto de aplicação, local de desenvolvimento e, tipos e fontes de publicação.

Essa RSL mostrou (1) quatro métodos MCDM de escolas e categorias diferentes são aplicados nesse campo de pesquisa, (2) nove tecnologias de IA muito distintas são empregadas para realizar priorização de forma inteligente na área de gestão de ativos, (3) quatro categorias de infraestrutura e oito subcategorias usam priorização inteligente na área de gestão de ativos, (4) quatro área de competência técnica da gestão de ativos aplicam esse campo de pesquisa, (5) quatro tipos de contribuições foram propostas para resolver problemas da gestão de ativos através da priorização inteligente, (6) oito ferramentas são usadas para suportar esse campo de pesquisa, (7) os passos utilizados pelas contribuições produzidas pelos estudos, (8) três métodos empíricos diferentes são usados para analisar as contribuições propostas pelos estudos, (9) as organizações que apoiaram as contribuições propostas pelos estudos e (10) como as organizações que apoiaram as contribuições propostas pelos estudos.

Muito foi descoberto com essa RSL pelo fato de já existirem vários estudos nesse campo de pesquisa e este ser muito relevante e promissor. Apesar disso, muitas lacunas ainda estão em aberto e deveriam ser tratadas para melhorar a forma como a priorização inteligente é aplicada na área de gestão de ativos. Algumas questões que exemplificam essas lacunas e que podem ser desenvolvidas em pesquisas futuras são:

- Como alinhar as estratégias de negócio com priorização inteligente na gestão de ativos?
- Como a priorização inteligente na área de gestão de ativos pode gerar benefícios diretos para a organização?
- É possível poupar recursos com priorização inteligente na área de gestão de ativos?

Diante disso, acredita-se que é de fundamental importância, a elaboração de uma abordagem para apoiar o alinhamento das políticas de manutenção dos ativos com as estratégias de negócio das organizações através do planejamento e execução da priorização de atividades de manutenção. Essa abordagem teria como objetivo guiar o gestor de ativos para a forma mais benéfica e menos custosa de executar as atividades de manutenção.

Infelizmente, até o momento, nenhuma abordagem com as características descritas anteriormente foi identificada na literatura assim como, nenhuma ferramenta que auxilie nesta tarefa. Espera-se que, futuramente, mais estudos relacionados a priorização inteligente na área de gestão de ativos sejam desenvolvidos a fim de suprir as lacunas que ainda estão em aberto nesse campo de pesquisa.

4 PROCESSO PROPOSTO

Este capítulo apresenta uma visão geral do processo SMIPP, as estratégias aplicadas para sua criação, tipo de tarefa, de indispensabilidade, e, de fase na priorização, além da descrição das etapas em detalhes para uso do processo proposto. O conteúdo deste capítulo é estruturado nas seguintes seções: visão geral do processo SMIPP, estratégia para criar o processo SMIPP, categorização das atividades do processo SMIPP e detalhamento do processo SMIPP.

4.1 VISÃO GERAL DO PROCESSO

SMIPP (Shutdown Maintenance Intelligent Prioritisation Process) é um processo iterativo e incremental que aplica tecnologias de inteligência artificial no planejamento e execução da priorização de grupos de atividades de manutenção de sistemas multiativos homogêneos. Ele tem como objetivo auxiliar o gestor de ativos na identificação dos agrupamentos de atividades de manutenção de sistemas multiativos homogêneos que amplifiquem o retorno do investimento em paradas de manutenção com restrições de tempo e orçamento. Além disso, importante salientar que o processo teve como inspiração para sua elaboração a ISO 55000 assim como as pesquisas futuras identificadas na RSL do Capítulo 3. A Figura 22 apresenta uma visão geral do processo SMIPP com as etapas em ciclo através das iterações.

Figura 22 – Visão geral do processo



Fonte: A autora

Ao todo são oito etapas que compõem o processo, uma descrição de cada uma delas está retratada a seguir:

- **Etapa 1 (Identificar ativos, sistemas e componentes de interesse)** - Essa etapa corresponde a análise dos ativos da planta industrial com seus respectivos sistemas e componentes. Após isso, é preciso selecionar quais ativos, sistemas e componentes de interesse serão utilizados na priorização;

- **Etapa 2 (Coletar e gerenciar os dados dos sistemas e componentes dos ativos)** - Essa etapa diz respeito à obtenção e organização das atividades de manutenção que serão priorizadas. Estas atividades correspondem aos ativos, sistemas e componentes selecionados anteriormente;
- **Etapa 3 (Estabelecer as decisões estratégicas)** - Nesta etapa são determinados os dados estratégicos, cenários e efeitos utilizados nos cálculos das dimensões e seus respectivos valores;
- **Etapa 4 (Analisar a dependência econômica)** - Essa etapa está relacionada ao agrupamento das atividades de manutenção da Etapa 2 para assim, gerar um conjunto de grupos, ou seja, uma estrutura de agrupamento que serão examinados do ponto de vista do custo individual e agrupado;
- **Etapa 5 (Calcular os custos das dimensões de decisão)** - Essa etapa corresponde ao cálculo das dimensões de decisão, isto é, produção, risco e recurso;
- **Etapa 6 (Calcular os índices)** - Essa etapa diz respeito ao cálculo dos índices tempo, orçamento e investimento na manutenção;
- **Etapa 7 (Executar a priorização e ordenar os resultados)** - Essa etapa está relacionada à execução da priorização por meio de um método de tomada de decisão multicritério combinado com uma tecnologia de IA e, posteriormente o ranqueamento dos resultados obtidos;
- **Etapa 8 (Verificar os resultados)** - Essa etapa está ligada a verificação dos resultados gerados pela priorização inteligente.

O processo SMIPP considera, como premissa, que as informações dos ativos, sistemas e componentes já estão disponíveis através das fontes de dados para que o tomador de decisão possa selecionar o(s) ativos(s) que ele julgar mais interessante e assim, ter subsídio para iniciar a Etapa 1 do processo.

Todos os dados que são utilizados ou gerados no processo SMIPP como entradas e/ou saídas estão listados no Apêndice E.

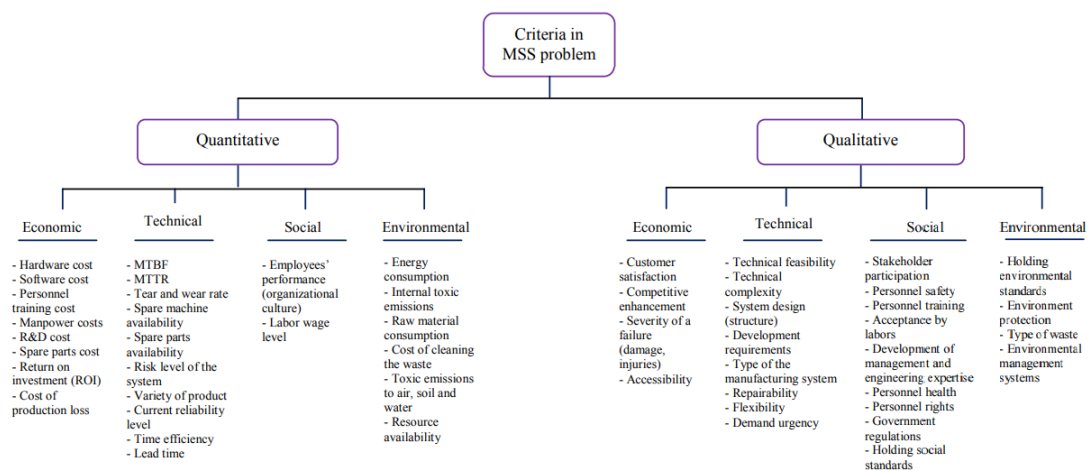
Dependendo do volume de dados disponível, o processo proposto pode tornar-se muito dispendioso, considerando a quantidade de cálculos e verificações que precisam ser realizadas por isso, buscando facilitar a utilização do referido processo, foi desenvolvida uma ferramenta de apoio que 1) possui interface gráfica para auxiliar a realização das atividades manuais e, 2) automatiza algumas atividades do processo. A mesma está descrita em detalhes no Apêndice L.

4.2 AÇÕES NO DESENVOLVIMENTO DO PROCESSO

Dez ações foram estabelecidas no desenvolvimento do processo SMIPP, são elas:

1. **Estabelecimento da categorização dos ativos da priorização.** No Capítulo 2, Fundamentação Teórica, foi feito um levantamento dos tipos de ativos de acordo com BSI (2008). A Tabela 2 apresenta os tipos de ativos, a descrição de cada tipo de ativo e alguns exemplos de cada tipo de ativo. Com base nisso, os tipos de ativos foram analisados e, optou-se nesta pesquisa por realizar a priorização de grupos de atividades de manutenção exclusivamente de ativos físicos em virtude 1) do foco da pesquisa ser voltado para gestão da manutenção, 2) dos ativos físicos serem tangíveis, palpáveis (ex: equipamentos e maquinário industrial) portanto, mais simples de terem suas características mensuráveis, como por exemplo, *Mean Time To Repair (MTTR)* e *Time Between Failures (TBF)* quando comparados com os ativos intangíveis que são impalpáveis, não podem ser tocados (ex: reputação e patente) e, 3) de ser mais factível a obtenção de base de dados de ativos físicos em comparação com outros tipos de ativos.
2. **Definição do objetivo de negócio e critérios utilizados na priorização.** Os critérios apurados foram baseados nas informações capturadas de diversas fontes de pesquisa, tais como, estudos publicados em *journal*, conferências, simpósios, *workshops*, dissertações e teses. De acordo com Shafiee (2015) e Chin et al. (2020) alguns dos possíveis critérios e sub-critérios que são levados em conta para o problema de seleção da estratégia de manutenção podem ser visualizados na Figura 23.

Figura 23 – Critérios para o problema de seleção da estratégia de manutenção



Fonte: A autora

Esse critérios e sub-critérios serviram de inspiração para primeiramente determinar qual seria o objetivo de negócio que iria nortear a priorização e, posteriormente

os critérios. Segundo Shafiee (2015) e Chin et al. (2020) os estudos apresentados na literatura não focam em alinhar a priorização com os objetivos de negócio da organização. Posto isso, primeiramente definiu-se que o objetivo de negócio seria quantitativo pois, desta forma seria mais viável para o gestor de ativos analisar e mensurar. Em seguida, observou-se que de acordo com Au-Yong et al. (2019) em contextos nos quais tempo e/ou orçamento são críticos é preciso que haja um planejamento adequado da priorização. Diante disso, este trabalho optou pelo objetivo de negócio ser direcionado para área econômica mais especificamente para cenários em que ocorre restrição de tempo e/ou orçamento.

3. **Investigação a respeito de paradas de manutenção.** As atividades de manutenção podem ser realizadas com os ativos em funcionamento ou temporariamente desligados. As situações em que a manutenção só pode ser realizada quando os ativos estão inoperantes são conhecidas como paradas de manutenção (SAHOO, 2013). Também chamada de interrupção ou desligamento, segundo Lenahan (2011) as atividades de manutenção mais comuns nas paradas de manutenção são inspeções, instalações, substituições ou reparo. Os fatores que levaram este trabalho a desenvolver um processo voltado para atividades de manutenção que são executadas em paradas de manutenção foram, 1) não é raro acontecer escassez de tempo e/ou orçamento em contextos de interrupção (TAM; PRICE, 2008b) inclusive, Sahoo (2013) afirma que os custos das paradas de manutenção tendem a superar 30% do orçamento planejado para manutenção dos ativos. Portanto, o contexto de paradas de manutenção corresponde perfeitamente ao objetivo de negócio e cenários estipulados no processo proposto e, 2) a perda de produção está intimamente relacionada com o retorno do investimento pois, paradas de manutenção são momentos em que a ausência de produtividade do ativo pode ser mensurada através do tempo que ele passou inoperante, do que ele produz quando ativo e, do valor que é vendido a produção gerada pelo ativo (SWART, 2015);
4. **Determinação do tipo de contribuição.** Optou-se por pelo tipo de contribuição Processo pelo fato deste, segundo Corrie (2004), ISO9000 (2015) e Rigdon (2016) ser um grupo de tarefas que interagem entre si ou que estão se relacionam recebendo entradas e produzindo saídas. De acordo com Mnkandla (2009) Osterweil (2011) e Neto et al. (2015) processo é definido como uma sequência de tarefas que para alcançar um objetivo precisam ser realizadas de forma ordenada e por fim, conforme Vilela, Castro e Pimentel (2016) processo provê uma orientação sobre o quê e como fazer. Ou seja, todas as assertivas anteriores se adequam as características da proposta desta pesquisa pois, a mesma possui um objetivo bem definido, diversas etapas compostas de atividades e subprocessos que se relacionam, que precisam ser executadas em uma ordem definida, por atores específicos e, que recebem entradas e

geram saídas. Além disso, após analisar os tipos de contribuições (Processo, Método, Modelo) que foram retornadas na RSL, Capítulo 3, foi identificada uma grande escassez de estudos com o tipo de contribuição Processo. Na análise e discussão da pergunta de pesquisa QP5 constatou-se que existe uma grande lacuna na literatura relacionada no desenvolvimento de abordagens que especifiquem, em detalhes, as etapas da priorização inteligente na área de gestão de ativos.

5. **Seleção de um *framework* como alicerce.** Após a realização dos itens anteriores, observou-se que o próximo passo seria realizar um levantamento na literatura à respeito de quais estudos se enquadrariam melhor ao contexto desta pesquisa. Diversas abordagens foram pesquisadas e examinadas e, o *framework* SMPF de Swart (2015) foi selecionado pelo fato deste está aderente as características já mencionadas além de 1) possuir uma sequência de passos bem estruturada, sistemática e organizada para priorização de grupos de atividades de manutenção, 2) considerar tempo e orçamento como recursos restritos e, 3) priorizar grupos de atividades de manutenção focando no retorno do investimento. O *framework* selecionado é baseado nos trabalhos de Tam e Price (2008a) e Tam e Price (2008b).
6. **Identificação de lacunas no *framework* SMPF.** O *framework* SMPF é composto por sete passos dispostos de forma linear os quais devem ser executados de cima para baixo e na ordem numérica estabelecida. Após o exame de cada um dos passos, lacunas severas puderam ser destacadas:
 - **Lacuna 1 (Agrupar as atividades de manutenção sem considerar o volume de dados coletados, os padrões embutido nos dados e as propriedades disponíveis)** - De acordo com Rijn (2002) as atividades de manutenção podem ser agrupadas em pacotes, Dijkhuizen (2000) corrobora isto destacando que caso haja alguma tarefa preparatória que precise ser executada antes da atividade de manutenção então, o agrupamento das atividades que possuem a mesma tarefa preparatória podem gerar uma economia significativa de tempo e orçamento. Tam e Price (2008b), Lenahan (2011) e Sahoo (2013) acrescentam mais um benefício ao agrupar as atividades de manutenção que consiste na possível distribuição dos pacotes de manutenção entre os contratados caso haja um processo licitatório. Apesar da sua relevância, ao realizar pesquisas na literatura, foi verificado que não existe um consenso entre os autores sobre qual(is) critério(s) utilizar para agrupar as atividades de manutenção. Alguns exemplos dos diversos critérios aplicados para agrupar as atividades de manutenção são, Rijn (2002) utiliza como critério a descrição do modo de falha da atividade de manutenção e eficácia técnica da manutenção planejada, já Tam e Price (2008b) prefere não especificar o critérios usado, por outro lado Sahoo (2013) estabelece diferentes abordagens tais como, *top-down*, localiza-

ção geográfica e divisão de departamentos. Em contrapartida, Karar, Labib e Jones (2021) decidiu adotar cenários de contexto operacional dominante como critério. Já no trabalho de Swart (2015), o agrupamento das atividades de manutenção ocorre de acordo com o componente ou subsistema que a atividade pertence através de uma análise combinatória dessas atividades, ou seja, em uma planta industrial com ativos complexos formados por diversos componentes, a quantidade de agrupamentos tenderia a crescer exponencialmente gerando um volume exorbitante de grupos. Ademais, esses agrupamentos ignoram os padrões embutido nos dados e também qualquer propriedade disponível diferente do componente que a atividade pertence. Assim, apesar, do problema de agrupamento ser um dos tipos de problemas MCDA amplamente divulgado na academia e indústria (CHEN et al., 2018), é possível verificar que a escolha do(s) critério(s) para agrupar as atividades de manutenção é uma tarefa que depende muito da opinião e interpretação dos envolvidos no processo naquele momento. Consequentemente, isso gera um impacto no resultado da priorização;

- **Lacuna 2 (Ignorar a análise da dependência econômica)** - De acordo com Thomas (1986), Keizer, Flapper e Teunter (2017) e Dinh, Do e Iung (2020), com a evolução da tecnologia, a maioria dos sistemas multicomponentes tornaram-se cada vez mais complexos fazendo com que gradativamente emergisse a necessidade de entender como estes componentes se relacionam e de que forma isto impacta na confiabilidade, disponibilidade, degradação, custo e no resultado que é produzido pelo sistema como um todo. Esta necessidade se tornam mais crescente e desafiadora principalmente no contexto das estratégias ou políticas de manutenção. Dinh, Do e Iung (2020) defende que os componentes de um sistema multicomponente interagem não só enquanto estão operando mas, também durante o período em que estão sofrendo manutenção. Dekker, Wildeman e Schouten (1997) afirma que em sistemas multicomponentes as interações entre os componentes não devem ser negligenciadas pois, estas influenciam nas tomadas de decisões que são realizadas durante a manutenção. Devido à isto, diversas pesquisas estão sendo desenvolvidas em sistemas com essas características. Segundo Thomas (1986), Nicolai e Dekker (2008), Keizer, Flapper e Teunter (2017) e Dinh, Do e Iung (2020), nos modelos de manutenção, a interação ou dependência entre os componentes de um sistema multicomponente pode ser classificada de diversas formas, tais como, estocástica (também chamada de randômica, de falha, probabilística, de deterioração), estrutural, econômica, técnica, de desempenho, recurso, entre outras subdivisões inclusive, dependências de múltiplos tipos. Keizer, Flapper e Teunter (2017) e Dinh, Do e Iung (2020) afirmam que dependência econômica implica em exa-

minar qual situação fornece maior lucro financeiro, se executar a manutenção reunindo um grupo de componentes é mais caro ou mais barato do que manter cada componente individualmente. A primeira situação chamada de dependência econômica negativa, ocorre quando é verificado que a execução simultânea da manutenção de um conjunto de componentes é mais dispendiosa quando comparado a execução individual da manutenção de cada um dos componentes. Dinh, Do e Iung (2020) e Keizer, Flapper e Teunter (2017) esclarecem que situações deste tipo podem acontecer quando para executar a manutenção existem restrições de mão de obra, requisitos de segurança, entre outros. Por outro lado, a segunda situação chamada de dependência econômica positiva, é exatamente o oposto da anterior, ou seja, acontece quando é examinado que a execução simultânea da manutenção de um conjunto de componentes é menos dispendiosa quando comprado a execução individual da manutenção de cada um dos componentes. Novamente Dinh, Do e Iung (2020) e Keizer, Flapper e Teunter (2017) elucidam que exemplos deste tipo de situação seriam, manutenções com custos de viagem ou que requerem paradas de manutenção. Embora seja de grande importância, o *framework* SMPF não aplica nenhum tipo de análise de dependência, ou seja, todos os tipos de dependência inclusive, os mencionados anteriormente são negligenciados. Assim, fica evidente que essa lacuna é demasiadamente severa pois, o *framework* SMPF atua como se os componentes e subsistemas de um ativo trabalhassem isoladamente, sem nenhum tipo de interferência entre si e também não estivessem inseridos em um contexto de uma plana industrial com diversos outros ativos também compostos por vários componentes e subsistemas. Para agravar ainda mais a situação, o *framework* SMPF prioriza grupos de atividades de manutenção focando no retorno do investimento mas, não verifica se economicamente 1) é mais interessante executar as atividades de manutenção agrupadas ou individuais e, 2) quais arranjos de agrupamento amplificam o retorno do investimento. Desse modo, ignorando a análise da dependência sobretudo a econômica, possivelmente, o resultado da priorização será bastante afetado negativamente;

- **Lacuna 3 (Impossibilitar o uso do método MCDM AHP devido 1) ao problema do *ranking* reverso e, 2) a incerteza e subjetividade na comparação em pares)** - Desde a sua apresentação a comunidade científica através do trabalho de Saaty (1980), até os dias atuais, o método MCDM AHP foi extensivamente adotado em diversos campos de pesquisa, como por exemplo, na priorização de transportadoras Arueira (2014), de serviços submarinos na indústria do petróleo Souza et al. (2019), de medidas de desempenho de negócio Cheng e Li (2001), de recursos humanos Aly, El-hameed e Abd (2013), de vinhos Thakkar et al. (2016), de ativos que sinalizam alerta de acidentes

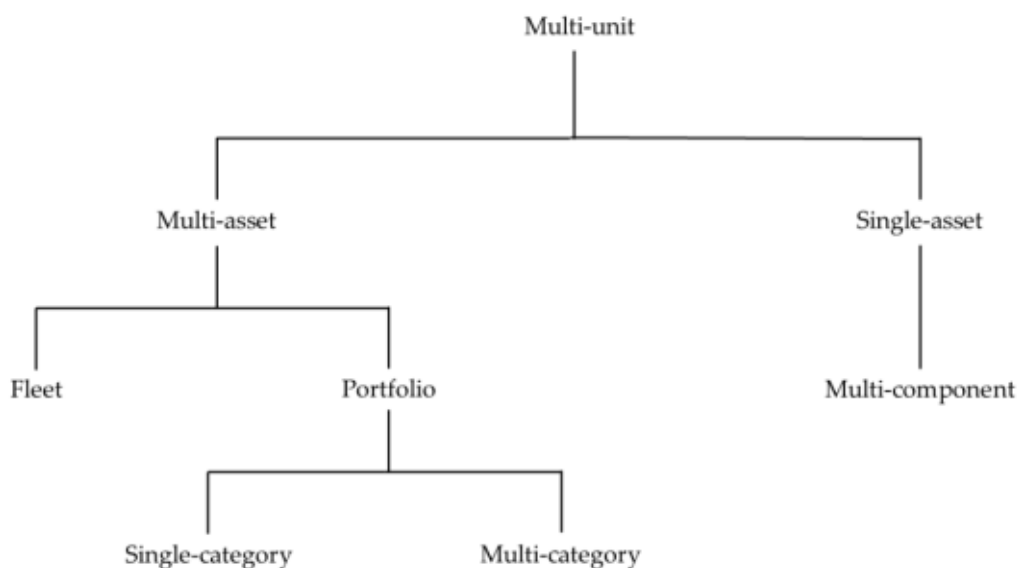
industriais catastróficos Ramli, Amran e Sulaiman (2020), de terrenos urbanos Caha e Burian (2018), de serviços de rastreamento veicular Chagas (2016). De acordo com Triantaphyllou e Lin (1996), Duran e Aguilo (2008) e Javanbarg et al. (2012), o AHP é um método MCDM com diversas vantagens, dentre elas, a) examina a consistência dos julgamentos feita pelos tomadores de decisão na comparação em pares, b) formula hierarquicamente o objetivo da priorização, critérios, subcritérios e alternativas auxiliando na organização do problema, c) realiza comparação em pares gerando pesos para os critérios e pontuação para as alternativas ao invés de atribuir um valor diretamente, d) se mescla com outras abordagens para tratar problemas mais complexos e, e) facilita a compreensão e o tratamento de dados qualitativos e quantitativos. Importante salientar que Zytoon (2020) fez uma comparação entre seis métodos MCDM (AHP, Analytic network process (ANP), VIKOR, TOPSIS, ELECTRE e PROMETHEE) no que diz respeito a aspectos relevantes de problemas de tomada de decisão e o AHP obteve melhores resultados nos aspectos, estabelecer o peso dos critérios, prover verificação de consistência e ranqueamento global baseado em resultados quantitativos, alcançando a mais alta pontuação, ou seja, alta preferência. Já nos aspectos, comparação em pares menos subjetiva, ausência de *ranking* reverso e simplicidade de entradas e cálculo, o AHP obteve resultados medianos, isto é, preferência moderada. Por fim, em relação aos aspectos, utilização de um grande número de critérios ou alternativas e facilidade de interpretar os resultados quantitativos, o AHP obteve pior desempenho com a pontuação mais baixa, ou seja, menor preferência. Assim, percebe-se que o AHP possui pontos fortes significativos que fazem a diferença quando comparado com outros métodos MCDM mas, que também precisa trabalhar alguns pontos sensíveis. No que diz respeito ao problema do *ranking* reverso, Wang e Luo (2009) e Abastante et al. (2019) explicam que a posição das alternativas no ranqueamento pode ser alterada caso haja alguma modificação (acréscimo ou retirada) no conjunto de alternativas pois, a priorização teria que ser executada novamente. Por exemplo, considerando duas alternativas A e B, na qual A está na terceira posição e B na quarta, caso haja inclusão ou remoção de alguma(s) alternativa(s) será necessário uma nova execução da priorização, sendo possível que a posição de A e B seja modificada de forma ascendente ou descendente. Isso geralmente ocorre por causa da limitação do AHP de tratar, no máximo, nove alternativas na priorização. De forma que, conforme Saaty (2001) e Gawlik (2008), quando o número de alternativas torna-se escalável e a quantidade de comparações em pares tende a aumentar, não é possível garantir a precisão e confiabilidade dos resultados obtidos na priorização. Já em relação a incerteza e subjetividade na comparação em pares, segundo Antucheviciene

et al. (2015) várias áreas do conhecimento tratam da incerteza porém, não existe um consenso sobre a definição desta. Bland e Schaefer (2012) afirmam que, na maioria das vezes, a incerteza ocorre quando as situações não fornecem informações suficientes ou estas não são possíveis de serem calculadas. Nieto-Morote e Ruz-Vila (2011) concordam com isto ao dizer que informações que não são possíveis de serem obtidas, não estão completas ou não são quantificáveis, geram situações propícias a incertezas na tomada de decisão. Marchau et al. (2019) dizem que, com relação à tomada de decisão, a incerteza se refere à lacuna existente entre o conhecimento disponível e o que os tomadores de decisão precisariam ter para fazer a melhor escolha. Os autores acrescentam que essa incerteza claramente envolve subjetividade. Antucheviciene et al. (2015) concordam adicionando que geralmente problemas do tipo MCDM possuem elementos de incerteza que expressam opiniões subjetivas dos tomadores de decisão. Dessa forma, é possível observar que, de fato, o problema do *ranking* reverso e a subjetividade na comparação em pares são fragilidades conhecidas do AHP contudo, existem pesquisas que trabalham isso de forma que, esses pontos fracos podem ser contornados por meio do uso de soluções já disponíveis no ambiente acadêmico. Além do mais, é notório que as vantagens geradas pela utilização do AHP agregam muitos benefícios para a priorização.

- **Lacuna 4 (Priorizar apenas um ativo)** Petchrompo e Parlikad (2019), em sua revisão da literatura, identificaram que sistema multiunidade são compostos por sistemas multiativos e de ativo único. Além disso, os autores também estabeleceram um princípio geral que diz, sistemas multiativos são formados por diversos ativos, controlados por uma organização, que compartilham recursos ou características e, sistemas de ativo único são constituídos por apenas um ativo formado por vários componentes que trabalham em conjunto. A partir disso, os autores subdividiram sistemas multiativos em frota e portfólio, no qual o primeiro corresponde a sistemas formados por ativos semelhantes ou homogêneos, que operam em uma mesma localização, sob condições idênticas e compartilham as mesmas atividades de manutenção e recursos. Por outro lado, os sistemas multiativos da categoria portfólio estão relacionados a sistemas compostos por ativos diferentes ou heterogêneos, que não necessariamente operam em uma mesma localização e as atividades de manutenção realizadas em um ativo não podem ser realizadas em outro ativo do mesmo portfólio. Um exemplo de sistemas multiativos do tipo frota seria um grupo de veículos ou equipamentos que são completamente idênticos. Nessa categoria, também podem existir alguns ativos ligeiramente diferentes porém, eles compartilham características técnicas e trabalham sob as mesmas condições. Já sistemas multiativos do tipo portfólio, tem como exemplo os ativos de infraestrutura, tais

como, rodovias, ferrovias, pontes e barragens. Por fim, Petchrompo e Parlikad (2019) ainda subdividiram portfólio em categoria única e multicategoria. Categoria única refere-se a um grupo de ativos que pertencem à mesma categoria, mas que possuem características diferentes, por exemplo, os reservatórios de barragens distintas são todos pertencentes a mesma categoria (reservatório) porém, possuem características divergente entre si, como, tamanho, volume, estrutura, tempo de construção, entre outros. Já multicategoria diz respeito à ativos que pertencem a categorias diferentes, como, pontes, túneis e pontes pedonais (ponte suspensa para tráfego de pedestre). Para facilitar a compreensão a acerca deste assunto, a Figura 24 apresenta a estrutura hierárquica da classificação feita por Petchrompo e Parlikad (2019).

Figura 24 – Classificação de sistemas multiunidades



Fonte: (PETCHROMPO; PARLIKAD, 2019)

Em relação ao trabalho de Swart (2015), o *framework* SMPF atua exclusivamente em sistemas de ativo único, ou seja, ele dificulta bastante a sua utilização em uma planta industrial pois, para usá-lo seria necessário aplicá-lo diversas vezes, individualmente, em cada ativo da planta industrial. É possível imaginar o grau de complexidade na utilização do *framework* SMPF através da análise do relatório da Ford que informa o total consolidado de ativos sendo de \$115,123 milhões (FORD, 2023). Ou seja, aplicar o referido *framework* tornar-se-ia inviável. E, apesar disso, caso o *framework* fosse usado, seu resultado seria questionável pelo fato dele ignorar a interação entre os ativos. Outro exemplo ocorre em Ricefer (2020) que destaca uma xaroparia (fábrica que produz bebidas variadas como refrigerantes, energéticos, sucos, etc) na qual existem diferentes ativos homogêneos tais como, tanque de água bruta, tanque de água clorada,

tanque misturador e tanque de água de processo e distribuição. Além disso, Ricefer (2020) ainda salienta que a central do sistema de lavagem é composta por outros tanques, são eles, tanque de água recuperada do último enxague, tanque de solução de soda, tanque de água tratada para enxague, tanque de solução ácida para abrandamento e tanque de solução para assepsia.

- **Lacuna 5 (Desconsiderar repriorização)** - O *framework* SMPF estabelece uma sequência de passos, que devem ser seguidos linearmente, para que se consiga realizar a priorização. Assim, um passo só pode iniciar quando o passo imediatamente anterior a ele foi concluído, ou seja, as saídas de um passo são entradas para o passo seguinte, não sendo possível transpor nenhum passo. Na engenharia de *software* existe um modelo de desenvolvimento de *software* com essas mesmas características, o modelo cascata. Segundo Shylesh (2017) esse é um modelo antigo e que apresenta uma série de desvantagens, tais como, não é indicado para projeto grandes, não suporta mudanças em fases anteriores, ajuste de escopo só pode ser feito quando todas as fases são finalizadas. Devido a esses aspectos observa-se que o modelo cascata é bastante rígido, fato que dificulta sua aplicação em projetos da atualidade. De forma análoga ocorre com o *framework* SMPF no qual, todas as vezes que o gestor de ativos for utilizar o *framework* precisará executar, de um por um, todos os sete passos sequencialmente até finalizar a priorização. E, caso o resultado não seja satisfatório ou seja necessário acrescentar ou modificar alguma informação, será preciso começar a priorização toda novamente partindo do primeiro passo. Isso dificulta bastante a utilização do *framework* pois, demandaria muito tempo e esforço do gestor de ativos.

Essas lacunas são demasiadamente graves inclusive, estas influenciam fortemente na priorização, a ponto de gerar dúvidas sobre sua confiabilidade e integridade. Além disso, o referido *framework* também é desprovido de características relevantes, tais como, falta de especificação sobre quais são os passos obrigatórios e opcionais, quais são manuais e automáticos, se é possível transpor algum passo, quem são os atores que desempenham as atividades e quais são os artefatos de entrada e saída que são recebidos e gerados em cada passo. Ademais, o fato de não possuir uma ferramenta de apoio constitui um obstáculo considerável para sua utilização.

7. Aplicação de tecnologias de IA no planejamento e execução da priorização de grupos de atividades de manutenção. Diante das lacunas identificadas optou-se por investigar o uso de algumas soluções para supri-las:

- **Lacuna 1 (Agrupar as atividades de manutenção sem considerar o volume de dados coletados, os padrões embutido nos dados e as propriedades disponíveis)** - Nesta pesquisa optou-se por utilizar clusterização

para agrupar as atividades de manutenção pois, de acordo com Jain (2010) o grande volume de dados hoje disponível, a falta de conhecimento prévio do número de *clusters* e a alta dimensão dos dados dificulta o reconhecimento dos padrões intrínsecos nos dados pelos seres humanos fazendo com que seja necessário a utilização de algoritmos ou modelos inteligentes. Segundo Sinaga e Yang (2020) modelos para classificação e reconhecimento de padrões agrupam dentro de um mesmo *cluster* atividades de manutenção caracterizadas por serem de maior similaridade, isto é, *clusters* homogêneos e as atividades de manutenção de maior dissimilaridade vão constituir *clusters* diferentes, ou seja, *clusters* heterogêneos. Portanto, este trabalho optou por, através da clusterização, realizar os agrupamentos das atividades de manutenção com a atividade, Agrupas as atividades de manutenção, localizada dentro do subprocesso, Analisar a dependência econômica, na Etapa 4. Ao executar o agrupamento irão ser formados como saída estruturas de agrupamentos que serão utilizadas como a população inicial para o algoritmo de otimização que será executado mais adiante;

- **Lacuna 2 (Ignorar a análise da dependência econômica)** - Primeiramente, verificou-se diversos tipos de dependência (estocástica, estrutural, econômica, técnica, de desempenho, recurso) e, em seguida optou-se pela análise da dependência econômica. Tomou-se essa decisão devido ao alinhamento desta com o objetivo de negócio e critérios definidos na priorização. Posteriormente, decidiu-se pelo uso de um algoritmo de otimização para analisar a dependência econômica entre os componentes dos ativos. Essa decisão ocorreu porque, conforme Thomas (1986) esclarece, encontrar a solução ideal para problemas do mundo real não é uma tarefa simples devido as vários aspectos, tais como, tempo computacional, amplitude do espaço de busca e grau de complexidade do problema. Por causa disso, os algoritmos de otimização atuam buscando a chamada solução ótima, ou seja, a que melhor se adequa ao contexto e restrições existentes e também, que satisfaçam a função de *fitness* ou função objetivo definida (ENGELBRECHT, 2007). Além disso, cada vez mais pesquisadores estão trabalhando para desenvolver algoritmos de otimização mais aprimorados em relação a robustez e capacidade de balanceamento entre eficiência e velocidade de processamento, conforme (NGUYEN, 2019) e (VU, 2015). Portanto, a escolha de utilizar um algoritmo de otimização ocorreu em virtude dos itens já citados anteriormente e também por ser amplamente usado como mecanismo para encontrar soluções ótimas no contexto da gestão da manutenção, como por exemplo, (NGUYEN, 2019) e (VU, 2015). Dessa forma, este trabalho escolheu, através de um algoritmo de otimização, realizar a análise a dependência econômica dentro do subprocesso, Analisar a dependência econômica, localizado na Etapa 4. Ao finalizar a análise irão ser gerados

como saída os custos de execução das atividades de manutenção individuais e agrupadas juntamente com os grupos de atividades que mais amplificam o retorno do investimento.

- **Lacuna 3 (Impossibilitar o uso do método MCDM AHP devido 1) ao problema do *ranking* reverso e, 2) a incerteza e subjetividade na comparação em pares)** - Inicialmente procurou-se investigar, na literatura, possíveis soluções para tratar o problema do *ranking* reverso e, identificou-se que as possíveis soluções apontavam para maneiras de reduzir o número de comparação em pares. Abastante et al. (2019) mostram, através de um exemplo, que a quantidade de comparações que precisam ser realizadas no AHP é muito grande, mesmo com poucos critérios e alternativas pois, esse método MCDM envolve $\binom{n}{2} + n\binom{|A|}{2}$ comparações em pares das quais $\binom{n}{2}$ são entre os critérios e $n\binom{|A|}{2}$ entre as alternativas. No exemplo de Abastante et al. (2019) são considerados apenas cinco critérios e dez alternativas, ou seja, os tomadores de decisão vão precisar realizar $\binom{10}{2}$ comparações em pares entre os critérios e $10\binom{5}{2}$ entre as alternativas, resultando em um total de 145 comparações em pares, isto é, um número elevado de comparações. De acordo com Ishizaka (2019) existem várias formas de fazer essa redução, tais como, clusterização, preenchimento parcial da matriz de comparação, comparação por *benchmarking* e interpolação. Nesta pesquisa optou-se por usar interpolação linear pois, de acordo com Corrente, Greco e Ishizaka (2016) e Ishizaka (2019) o tomador de decisão não precisa analisar todas as alternativas disponíveis no conjunto de alternativas, em vez disso, ele cria um subconjunto, composto de sete a nove de alternativas, analisa apenas esse subconjunto e gera o peso das alternativas do subconjunto. Já, as alternativas restantes vão ter o valor do seu peso calculado através da interpolação. Com relação a incerteza e subjetividade na comparação em pares, primeiramente foi necessário fazer um levantamento sobre o estado da arte da incerteza e subjetividade no contexto de tomada de decisão. Assim, constatou-se que, de acordo com Antucheviciene et al. (2015), na área de engenharia, por exemplo, quase todas as decisões são tomadas sob incerteza consequentemente, diversos métodos clássicos MCDM que trabalham com números *crisp* sob condições determinísticas estão tendo sua notoriedade diminuída em certos ambientes de decisão pois, estão emergindo novos métodos que lidam com diversos tipos de incertezas em problemas de apoio à decisão multicritério. Srivastava, Khanduja e Agrawal (2018) corrobora com isto ao afirmar que é um grande desafio para o tomador de decisão expressar suas preferências incertas através de números *crisp*. Conforme Bellman e Zadeh (1970) e Adalı, Işık e Kundakçı (2016), situações que precisam utilizar métodos MCDM são complexas pois, muitas vezes não se tem conhecimento exato dos objeti-

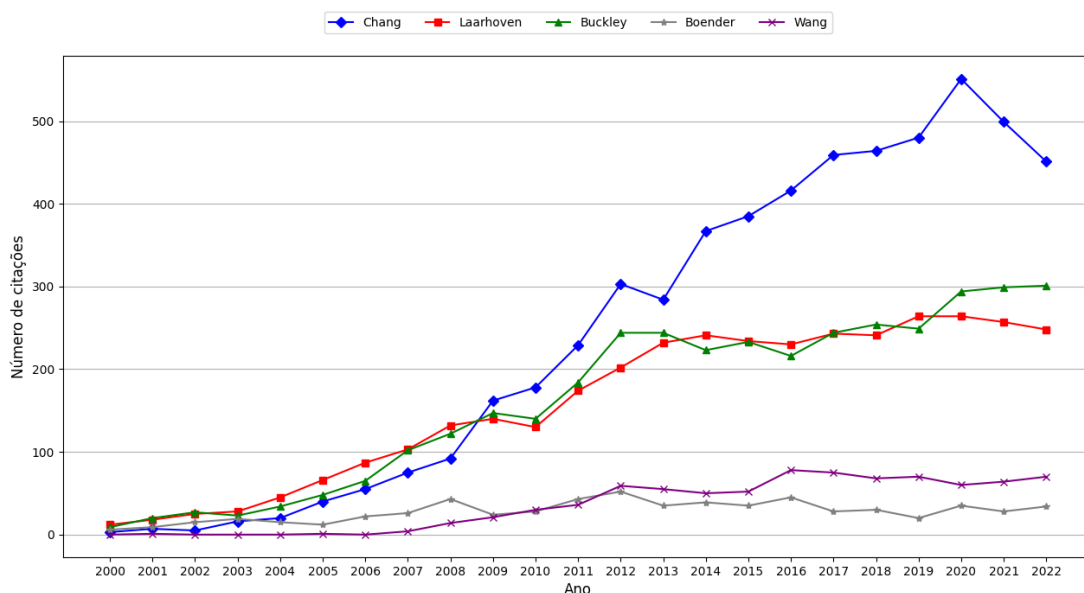
vos e restrições consequentemente, realizar tomada de decisão usando valores *crisp* torna-se inapropriado. Os autores de Au-Yong et al. (2019) defendem que as abordagens que são utilizadas para priorização na gestão da manutenção possuem lacunas que acarretam na ineficácia e má alocação de recursos. Acredita-se que isto ocorra porque a priorização está fortemente relacionada a subjetividade, experiência e *know-how* do gestor de ativos, em geral o gerente de manutenção. Conforme Agarwal e Singholi (2018), métodos MCDM, tais como AHP, são inadequados para sistemas complexos pelo fato de que, na maioria das vezes, os tomadores de decisão expressam opiniões vagas e tendenciosas. Mesmo que Saaty (1990) tenha desenvolvido uma escala que simplifique o cálculo e a formulação do método AHP, esta não considera a incerteza do tomadores de decisão ao julgar os critérios e alternativas na priorização. Krejčí, Pavlačka e Talašová (2017) mostram através de um exemplo ilustrativo utilizando o método AHP que ao negligenciar as informações sobre a incerteza no julgamentos dos critérios e alternativas, perdem-se partes importantes do conhecimento à respeito do problema de tomada de decisão, fato que pode causar a mudança na ordenação das alternativas e consequentemente alteração no resultado da priorização. Dessa forma, após a realização desse levantamento, optou-se pela utilização de lógica *fuzzy* pois, de acordo com Antucheviciene et al. (2015) a teoria dos conjuntos *fuzzy* é a abordagem mais comum para descrever e lidar com as imprecisões e incertezas dos métodos MCDM. Agarwal e Singholi (2018) justifica isso ao afirmar que métodos MCDM que utilizam abordagens *fuzzy* fornecem resultados superiores para problemas do mundo real. Segundo Ayhan (2013), os métodos MCDM apresentam uma particularidade marcante que é a incerteza e imprecisão na opinião dos tomadores de decisão contudo, essas especificidades dos julgamentos humanos podem ser tratadas por meio da teoria dos conjuntos *fuzzy* (ZADEH, 1965). Conforme Buckley (1985) uma grande vantagem dos números *fuzzy* está no fato destes incorporarem imprecisão automaticamente. Afful-Dadzie, Nabareseh e Oplatková (2014) afirma que desde que a lógica *fuzzy* foi desenvolvida que esta tem se mostrado de grande utilidade e eficiência para lidar com problemas através de métodos MCDM pois, em muitas situações em vez de utilizar informações imprecisas ou incertas é usada linguagem natural para expressar os julgamentos. Petrović et al. (2019) corrobora isto ao dizer que os métodos MCDM baseados em *fuzzy* permitem a quantificação dos julgamentos dos tomadores de decisão por meio de termos ou variáveis linguísticas. Segundo Adalı, Işık e Kundakçı (2016), a teoria dos conjuntos *fuzzy* é uma possível solução para este tipo de situação pois, esta engloba os números *crisp* além de também proporcionar o uso de função de pertinência ou membro. Pedrycz e Gomide (2007) diz que a teoria

dos conjuntos *fuzzy* consegue assimilar o modo como as situações da vida real são descritas e percebidas. Isto faz com que esta teoria tenha como característica ser bastante clara e de fácil compreensão. Os autores acrescentam que, em todas as vezes, será uma questão de grau a participação de um elemento a uma determinada classificação. Conforme Figueroa-Garcia e Kreinovich (2021), geralmente os tomadores de decisão não possuem certeza absoluta acerca de determinadas circunstâncias então, para expressar suas opiniões utilizam linguagem natural, tais como, “um pouco”. Assim, diante desse conhecimento incerto e impreciso surge a necessidade de adaptação deste para algo que possa ser expresso matematicamente. Este foi um dos principais fatores motivacionais para o desenvolvimento da teoria dos conjuntos *fuzzy*. De acordo com Petrović et al. (2019), termos linguísticos são variáveis que possuem como valor termos ou frases em linguagem natural. Os autores acrescentam que através da teoria dos conjuntos *fuzzy* é possível matematicamente relacionar as incertezas e imprecisões aos termos linguísticos, como por exemplo, "provavelmente", "um pouco", "relativamente claro", entre outros. Desse modo, este trabalho optou por realizar a priorização com o FAHP pois, além dos motivos descritos anteriormente, segundo Krejčí, Pavlačka e Talašová (2017) o FAHP foi desenvolvido para lidar com a imprecisão e incerteza no método AHP. Portanto, o processo SMIPP aplica a priorização com o FAHP por meio do subprocesso, Executar a priorização e ordenar os resultados, localizado na Etapa 7.

8. **Escolha dos algoritmos para, 1) Agrupar as atividades de manutenção, 2) Analisar a dependência econômica e, 3) Calcular o peso *fuzzy* dos elementos da matriz.** Primeiramente foi realizada um levantamento na literatura para verificação de quais tecnologia de IA são mais utilizados na área de gestão de ativos. Posteriormente, delimitou-se mais o escopo da pesquisa para gestão de manutenção. A partir disso, diversos algoritmos foram analisados e, para agrupar as atividades de manutenção, foi selecionado o *k-means* pelo fato deste, a) ser bastante consolidado na literatura como mostra a pesquisa de Jain (2010), b) possuir diversas extensões (*bisecting K-means* (PELLEG; MOORE, 1999), *X-means* (PELLEG; MOORE et al., 2000), *K-medoid* (KAUFMAN; ROUSSEEUW, 2009) e c) possuir biblioteca disponível no *Scikit-Learn* (PEDREGOSA et al., 2011), ofertada da linguagem Python, com suporte de diversos desenvolvedores da comunidade. Todos esses itens listados embasou e auxiliou bastante a autora deste trabalho a implementar o clusterizador responsável por agrupar as atividades de manutenção. Em relação a análise da dependência econômica, esta pesquisa utilizou o AG pelo fato deste, a) ser amplamente utilizado na literatura, como por exemplo, Pereira et al. (2020a), Pereira et al. (2020b) e Vasconcelos et al. (2020) , b) ter sido usados nas pesquisas de Nguyen (2019) e Vu (2015) para implementar a dependência econômica entre os componen-

tes e, c) possuir implementação na biblioteca *PyGAD* (GAD, 2021), da linguagem Python, com suporte de diversos desenvolvedores da comunidade. Além disso, esse algoritmo retornou em primeiro lugar como a tecnologia de IA mais usada com priorização na gestão de ativos, segundo a RSL explanada no Capítulo 3. Destacando que as pesquisas de Nguyen (2019) e Vu (2015) foram as principais referências em relação ao desenvolvimento da dependência econômica por se tratarem de estratégias de manutenção, a) que tem como objetivo o agrupamento das atividades de manutenção e, b) que modelam matematicamente a dependência econômica. Esses itens listados embasaram e auxiliaram bastante a autora deste trabalho na implementação dos cálculos realizados da análise da dependência econômica individual e agrupada sobretudo, no desenvolvimento da função de *fitness* responsável por encontrar a estrutura de agrupamento com o melhor arranjo de grupos de atividades de manutenção, ou seja, o arranjo de grupos com menor custo. Sobre a escolha dos algoritmos para calcular o peso *fuzzy* dos elementos da matriz optou-se por utilizar o FAHP *Geometric Mean Method* (BUCKLEY, 1985) e *Fuzzy Extent Analysis* (CHANG, 1996). Esta decisão ocorreu devido a estes serem bastante consolidados e também amplamente utilizados na literatura conforme pode ser visualizado na Figura 25. Esta figura reflete o resultado da pesquisa de Ahmed e Kilic (2019).

Figura 25 – Comparação do número de citações FAHP



Fonte: Adaptado de (AHMED; KILIC, 2019)

A referida pesquisa realizou uma análise com vários algoritmos que implementam o FAHP e selecionou os cinco mais populares para comparar seu desempenho. O nível de popularidade dos algoritmos baseou-se no número de citações de acordo

com o Google Acadêmico ¹ durante o período de 2000 a 2017. Fundamentando-se nisso este trabalho reproduziu os resultados obtidos no que diz respeito ao número de citações e ampliou até o período 2022. Assim, na Figura 25 é possível observar que desde do ano de 2009 o algoritmo de Chang (1996) lidera em relação ao número de citações inclusive, com uma distância grande do segundo lugar. Por outro lado, os algoritmos de Buckley (1985) e Laarhoven e Pedrycz (1983) disputaram acirradamente o segundo lugar no número de citações com diversas oscilações ao longo dos anos. Apenas a partir do ano de 2020 que o algoritmo de Buckley (1985) se consolidou no segundo lugar, deixando consequentemente Buckley (1985) em terceiro. Embora os algoritmos de Boender, Graan e Lootsma (1989) e Wang, Luo e Hua (2008) tenham um número de citações baixo, entre eles, durante muitos anos, foi muito concorrido o quarto lugar, só a partir de 2012 que Wang, Luo e Hua (2008) se estabeleceu no quarto lugar e consequentemente, restou o quinto e último lugar para Boender, Graan e Lootsma (1989). Dessa forma, de acordo com essas evidências este trabalho optou por implementar os algoritmos de Buckley (1985) e Chang (1996), em primeiro e segundo lugar, aplicando os métodos *Geometric Mean Method* e *Fuzzy Extent Analysis*, respectivamente. Importante destacar que este trabalho não encontrou um consenso na literatura à respeito de qual função pertinência é mais adequada ou mesmo qual escala *fuzzy* utilizar. A pesquisa de Ishizaka e Nguyen (2013) deixa essa problemática bem explícita quando a) afirma que a função pertinência pode ser representada de várias formas (triangular, trapezoidal, linear, entre outras) e, b) mostra através de uma tabela comparativa que identificou 27 escalas *fuzzy* diferentes e, principalmente, afirma que nenhuma delas possuía justificativa. Diante disso, este trabalho optou por usar uma função pertinência com representação triangular pelo fato dela ser amplamente aplicada em priorizações com o FAHP, como por exemplo, Afolayan, Ojokoh e Adetunmbi (2020), Caggy e Almeida (2020) e Lesani, Rouyendegh e Erdebilli (2014). E, a mesma motivação foi empregada para a escolha da escala *fuzzy* inclusive, a Tabela 39 exibe a escala selecionada.

Tabela 39 – Escala *Saaty* x Escala *Fuzzy*

Escala <i>Saaty</i>	Escala <i>Fuzzy</i>
1	(1,1,3)
3	(1,3,5)
5	(3,5,7)
7	(5,7,9)
9	(7,9,9)

¹ <https://scholar.google.com.br/>

$\frac{1}{3}$	$\left(\frac{1}{5}, \frac{1}{3}, \frac{1}{1}\right)$
$\frac{1}{5}$	$\left(\frac{1}{7}, \frac{1}{5}, \frac{1}{3}\right)$
$\frac{1}{7}$	$\left(\frac{1}{9}, \frac{1}{7}, \frac{1}{5}\right)$
$\frac{1}{9}$	$\left(\frac{1}{9}, \frac{1}{9}, \frac{1}{7}\right)$

Fonte: (AFOLAYAN; OJOKOH; ADETUNMBI, 2020), (ISHIZAKA; NGUYEN, 2013), (AYHAN, 2013) e (STEFANO, 2016)

9. **Priorização de grupos de atividades de manutenção de sistemas multiativos homogêneos.** Ao analisar a lacuna 4 do *framework* SMPF decidiu-se examinar a utilização da seguinte solução:

- **Lacuna 4 (Priorizar apenas um ativo)** - De acordo com Petchrompo e Parlikad (2019), no contexto da gestão de ativos, sistemas multiativos do tipo frota (homogêneos) são grupo de ativos que operam em uma mesma localização, como por exemplo os ativos de uma planta industrial. Além disso, podem ser idênticos ou possuírem características técnicas similares, devido a isso, a gestão da manutenção deles é equivalente, isto é, as atividades de manutenção são as mesmas, a substituição de peças, as tarefas preparatórias, entre outros. Em contrapartida, nos sistemas multiativos do tipo portfólio (heterogêneos) é preciso ter diferentes políticas de manutenção para os diversos ativos pois, eles operam sob condições diversas e não compartilham as mesmas atividades de manutenção. Esse fato adiciona um grau de complexidade considerável na gestão da manutenção desses tipos de ativos. Petchrompo e Parlikad (2019) exemplifica a dificuldade na manutenção de sistemas multiativos heterogêneos dizendo que Londres possui aproximadamente 8.000 estruturas que conectam a cidade com diferentes características, como túneis, passarelas e pontes pedonais, em outras palavras, ativos de infraestrutura multicategoria. Para realizar a manutenção desses ativos foi preciso definir grupos de ativos e realizar diferentes estratégias de manutenção para cada grupo devido a natureza dos ativos. Sendo assim, ao realizar uma análise de viabilidade, verificou-se que não seria possível, dentro do período disponibilizado para esta pesquisa, desenvolver um processo para sistemas multiativos heterogêneos devido a 1) dificuldade de se obter uma base de dados com informações de ativos heterogêneos e suas atividades de manutenção, 2) ao grau de complexidade de desenvolver um processo com diferentes políticas de manutenção para ativos com características diversas e, 3) a falta da padronização de métricas para avaliação do desempenho dos ativos heterogêneos. Portanto, optou-se, neste trabalho, por desenvolver um

processo direcionado para sistemas multiativos homogêneos que estão inseridos geograficamente em uma mesma planta industrial;

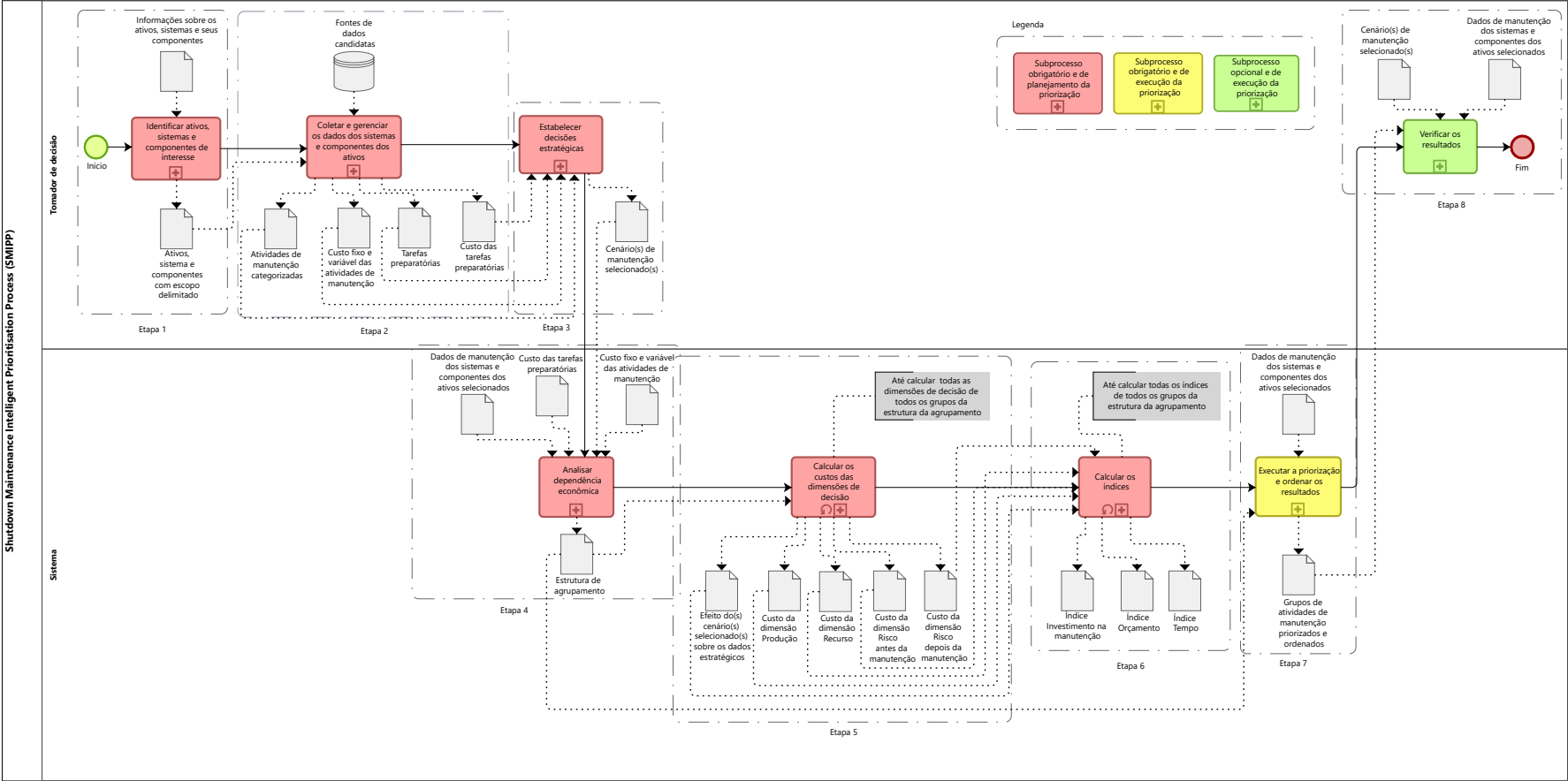
10. **Estabelecimento de um processo iterativo e incremental.** Nesta pesquisa considerou-se a aplicação da solução abaixo para suprir a lacuna 5 do *framework* SMPF:

- **Lacuna 5 (Desconsiderar repriorização)** - Ao pesquisar sobre abordagens iterativas e incrementais verificou-se que, de acordo com Alshamrani e Bahattab (2015), na engenharia de *software*, modelos com essas características, primeiramente, geram um produto entregável básico principal e, a partir das próximas iterações, vão ocorrendo refinamentos, melhorias e acréscimos no entregável. Portanto, diante da lacuna identificada optou-se por supri-la através do desenvolvimento de um processo iterativo e incremental no qual, na primeira iteração é necessário que todas as etapas do processo sejam seguidas na estrita ordem em que são descritas pois, cada etapa possui um conjunto de atividades que deve ser seguido antes da inicialização da próxima etapa. Ao final da primeira iteração é gerado o retorno do investimento de acordo com a priorização dos grupos de atividades de manutenção. Posteriormente, da segunda iteração em diante, o gestor de ativos pode refinar o resultado obtido retornando as etapas anteriores e ajustando ou acrescentando informações ao planejamento e execução da priorização, como, decisões estratégicas, cenários de manutenção, gerenciamento dos dados dos sistemas e componentes, entre outros. Em seguida, o gestor de ativos gera novamente o retorno do investimento e analisa se o resultado é satisfatório, caso não seja ele poderá realizar uma nova iteração e reiniciar o ciclo. O gestor de ativos poderá repriorizar os grupos de atividades de manutenção quantas vezes julgar necessário até obter o resultado desejado.

4.3 CATEGORIZAÇÃO DAS ATIVIDADES DO PROCESSO

A Figura 26 apresenta a estrutura do processo SMIPP com seus artefatos de entrada e saída. Na figura também é possível visualizar as oito etapas do processo com seus respectivos subprocessos. Para facilitar o entendimento as etapas foram organizadas numericamente. Todo o processo proposto foi modelado de acordo com a versão 2.0 da notação do Business Process Model and Notation (BPMN) (MODEL, 2011).

Figura 26 – Estrutura do processo



Fonte: A autora

Devido a quantidade e as características do processo proposto optou-se por classificar suas atividades em três categorias, a primeira por tipo do tarefa (manual ou automática), a segunda por tipo de indispensabilidade (obrigatória ou opcional) e por fim, a terceira por tipo de fase na priorização (planejamento ou execução). Uma descrição resumida de cada item das categorias encontra-se abaixo:

Tipo de tarefa:

- **Manual** - São tarefas classificadas no BPMN como de usuário, ou seja, que precisam da intervenção humana, com auxílio de algum *software*, para serem realizadas. Tarefas desse tipo ficam localizadas na raia, Tomador de decisão, e são representadas pela imagem a seguir.



Fonte: (MODEL, 2011)

- **Automática** - São tarefas classificadas no BPMN como de serviço, ou seja, que são automatizadas. Tarefas desse tipo ficam localizadas na raia, Sistema, e são representadas pela imagem a seguir.



Fonte: (MODEL, 2011)

Tipo de indispensabilidade:

- **Obrigatória** - São atividades imprescindíveis para que fluxo do processo seja realizado;
- **Opcional** - São atividades que, caso não sejam executadas, não interferem no fluxo do processo.

Tipo de fase na priorização:

- **Planejamento** - São atividades que correspondem a preparação e estruturação da priorização antes desta ser de fato executada;
- **Execução** - São atividades que estão relacionadas a realização da priorização propriamente dita.

Ao todo são sete etapas obrigatórias e uma opcional. Apesar da maioria das etapas do processo proposto serem obrigatórias, o tomador de decisão não irá despende de muito esforço ao usar o processo porque, das sete etapas obrigatórias, quatro delas são automáticas (Etapas 4, 5, 6 e 7), restando apenas três etapas obrigatórias que são manuais (Etapas 1, 2 e 3). Somente a Etapa 8 é opcional.

Importante destacar que nas etapas obrigatórias que são formadas por subprocessos, todas as tarefas que pertencem ao subprocesso também são obrigatórias.

As diferentes cores que identificam as etapas na Figura 26 correspondem a dois tipos de classificação, por tipo de indispensabilidade e tipo de fase na priorização. As etapas na cor vermelha são obrigatórias e de planejamento da priorização. Já as amarelas são obrigatórias e de execução da priorização. E, por fim as verdes são etapas opcionais e de execução da priorização.

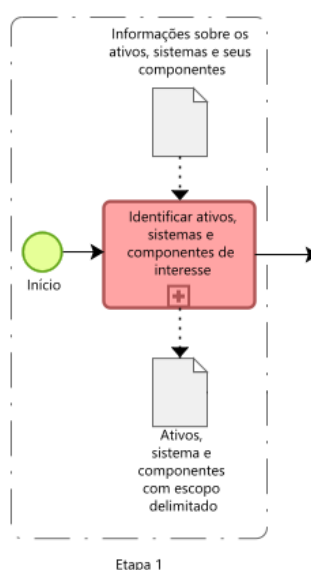
4.4 DETALHAMENTO DO PROCESSO

Nas subseções a seguir são apresentadas cada uma das tarefas, subprocessos, atores, fluxos de repetição e artefatos de entrada e saída envolvidos no processo SMIPP.

Etapas 1 - Identificar ativos, sistemas e componentes de interesse

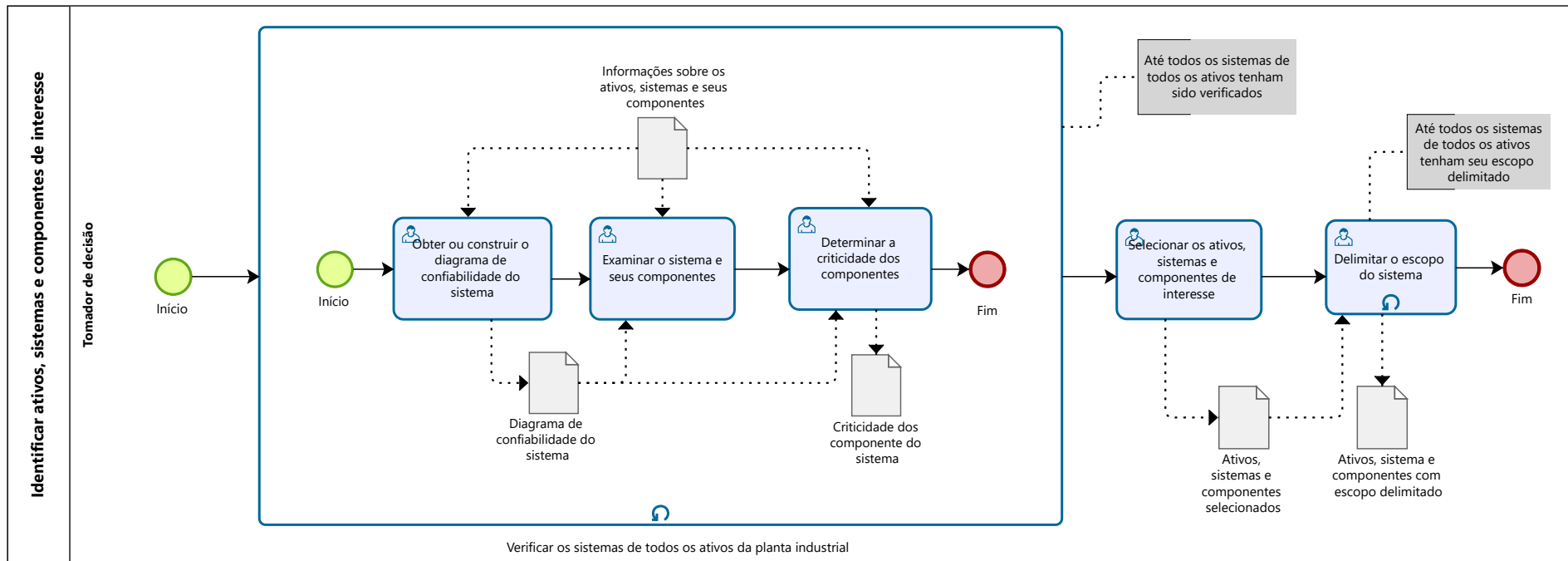
Nesta etapa o processo SMIPP tem início. A Figura 27 apresenta o subprocesso da Etapa 1, que corresponde à identificação dos ativos, sistemas e componentes de interesse. Este, quando expandido, possui um subprocesso e duas tarefas da quais, todas são obrigatórias, de planejamento da priorização e executadas manualmente pelo tomador de decisão, como pode ser visto na Figura 28.

Figura 27 – Etapa 1 do processo SMIPP



Fonte: A autora

Figura 28 – Etapa 1: Identificar ativos, sistemas e componentes de interesse



Fonte: A autora

A primeira tarefa do subprocesso, Verificar os sistemas de todos os ativos da planta industrial, está relacionada aos seguintes questionamentos "Tendo em vista que o processo SMIPP foi projetado para realizar a priorização em sistemas multiativos homogêneos então, em quais ativos o processo deverá atuar? E em quais sistemas e componentes dos ativos selecionados o processo deverá atuar?". Para responder a esta pergunta o referido subprocesso foi desmembrado em três tarefas, são elas:

- Obter ou construir o diagrama de confiabilidade do sistema;
- Examinar o sistema e seus componentes;
- Determinar a criticidade dos componentes.

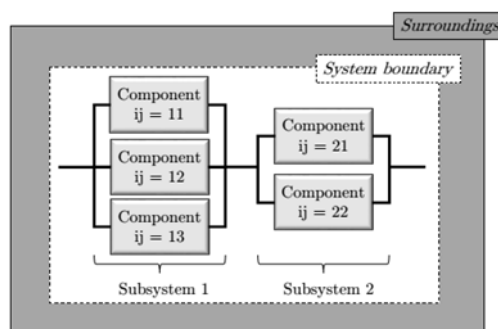
Todas essas tarefas recebem como entrada informações sobre os ativos, sistemas e seus componentes. A tarefa, Obter ou construir o diagrama de confiabilidade do sistema, corresponde à aquisição ou desenvolvimento do RBD ou diagrama de blocos que consistem em uma representação gráfica dos componentes de um sistema e também na especificação da relação de confiabilidade entre estes Jakkula, Mandela e SN (2020). Ao final dessa tarefa tem-se o diagrama de confiabilidade do sistema, que será utilizado como entrada para a próxima tarefa: Examinar o sistema e seus componentes. Essa tarefa diz respeito à análise das informações sobre o sistema e seus componentes, tais como, tempo de indisponibilidade resultante de falha no componente, idade do componente na data de início do horizonte de planejamento, idade efetiva do componente antes da manutenção, falhas do componente, entre outros. Em seguida está a tarefa, Determinar a criticidade dos componentes. Neste ponto é importante destacar que, recomenda-se a aplicação deste processo em sistemas que são considerados essenciais para o funcionamento dos ativos da planta industrial pois, eles estão diretamente ligados ao retorno do investimento gerado. Estes são também chamados de críticos pelo fato de que qualquer período de tempo de desligamento temporário irá acarretar em perda de produção (SWART, 2015). As tarefas deste subprocesso deverão ser executadas repetidamente até todos os sistemas de todos os ativos tenham sido verificados.

Após finalizar o subprocesso a próxima tarefa, Selecionar os ativos, sistemas e componentes de interesse, será iniciada. Esta tarefa corresponde a escolha dos ativos propriamente dito bem como, seus sistemas e componentes, que serão utilizados ao longo do processo. E, para finalizar este subprocesso a tarefa, Delimitar o escopo do sistema, começa. Ela diz respeito à demarcação das fronteiras do sistema selecionado. Lipsett e Hajizadeh (2011) e Swart (2015) defendem a importância da delimitação do escopo do sistema a fim de estabelecer claramente a divisão entre o sistema selecionado e seus componentes de todo resto do ativo que ficará nas imediações e não entrará na priorização. Portanto, a partir do momento que o sistema é selecionado, nesta tarefa é estipulado uma separação entre o que será incluído no processo (interior da fronteira do sistema) e o que ficará para uma próxima análise (imediações da fronteira do sistema). Esta tarefa deverá

ser executada repetidamente até todos os sistemas de todos os ativos tenham seu escopo delimitado.

A Figura 29 apresenta um exemplo de dois subsistemas, o primeiro com três componentes e o segundo com dois os quais estão localizados dentro do escopo do sistema. Além disso, também é exibida uma área que engloba este escopo, faz parte das imediações do sistema porém, não faz parte do escopo deste. O que estiver dentro do escopo do sistema selecionado será utilizado pelo processo SMIPP.

Figura 29 – Exemplo de delimitação da fronteira de um sistema

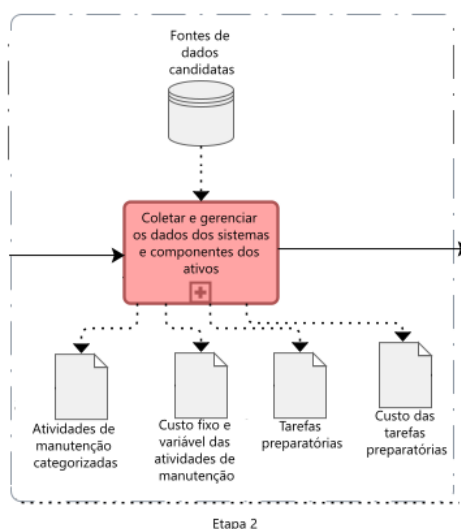


Fonte: (SWART, 2015)

Etapa 2 - Coletar e gerenciar os dados dos sistemas e componentes dos ativos

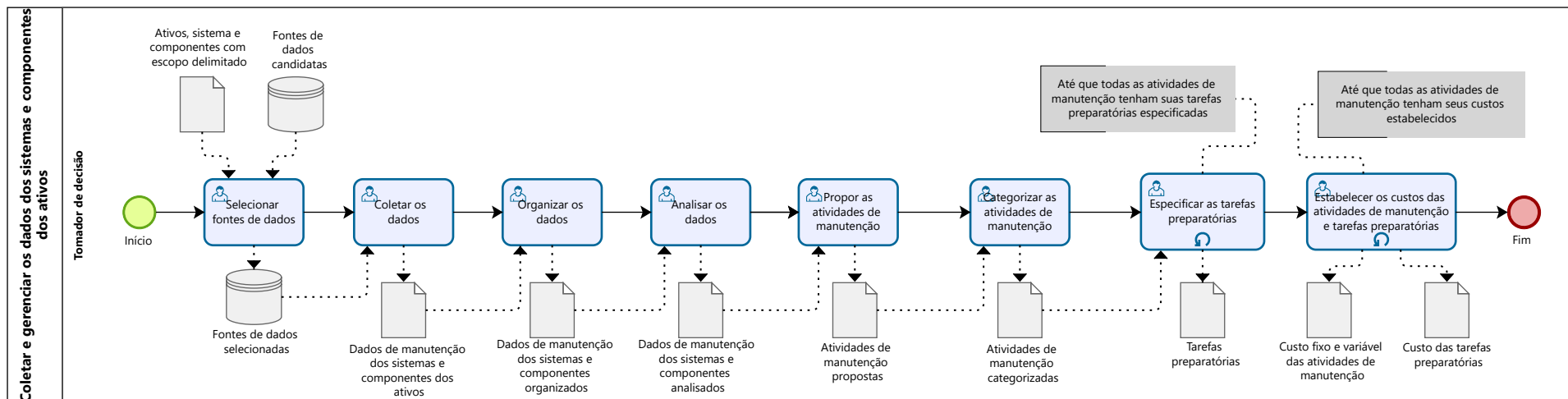
A Figura 30 apresenta o subprocesso da Etapa 2, que corresponde à coleta e gerenciamento dos dados dos sistemas e componentes dos ativos selecionados na etapa anterior. Este, quando expandido, possui oito tarefas das quais, todas são obrigatórias, de planejamento da priorização e executadas manualmente pelo tomador de decisão, como pode ser visto na Figura 31.

Figura 30 – Etapa 2 do processo SMIPP



Fonte: A autora

Figura 31 – Etapa 2: Coletar e gerenciar os dados dos sistemas e componentes dos ativos



Fonte: A autora

Posto que os ativos, sistemas e componentes de interesse já estão com seus escopos delimitados, o próximo passo diz respeito à obtenção e administração dos dados dos componentes. Este passo se inicia com a tarefa, Selecionar fontes de dados, que está relacionada à escolha de qual(is) fonte(s) de dados serão utilizadas para adquirir informações sobre os componentes que fazem parte dos ativos selecionados na etapa anterior. Não existe um consenso na literatura sobre quais são as origens mais adequadas para se obter essas informações. Em geral, as fontes de dados candidatas são: dispositivos IoT, sistemas supervisórios, de informação, banco de dados, informações do fabricante ou mesmo observações baseadas nas experiências dos técnicos e gestores de ativos. Esta tarefa recebe como entrada os artefatos, Ativos, sistema e componentes com escopo delimitado e Fontes de dados candidatas. Após sua execução é gerado como saída o artefato, Fonte de dados selecionada. Este artefato é usado como entrada para a tarefa seguinte, Coletar os dados.

Esta tarefa diz respeito à captura dos dados de manutenção dos componentes dos ativos selecionados. Estes dados são obtidos a partir da(s) fonte(s) de dados escolhidas na tarefa anterior. A extração desses dados poderá ser feita de diversas formas, como por exemplo, através de uma ferramenta ETL, integração com sistemas de retaguarda, etc. Ao finalizar esta tarefa é gerado como saída o artefato, Dados de manutenção dos sistemas e componentes dos ativos, e com ele diversas informações podem ser adquiridas como, tempo de indisponibilidade resultante de falha no componente (obtido a partir do MTTR do componente), idade efetiva do componente antes da manutenção, falhas do componente (obtido a partir do TBF do componente), entre outros. Eles são usados como entrada para a tarefa, Organizar os dados, que visa produzir como saída esses mesmos dados porém, organizados uma vez que, eles podem ter tido como origem diferentes fontes de informação. Assim, é importante que eles sejam transformá-los a fim de remover inconsistências ou mesmo incorretudes, tais como, dados em branco, duplicados, desformatados, despadronizados, entre outros.

Na próxima tarefa, Analisar os dados, é preciso investigar os dados de manutenção dos sistemas e componentes a fim de identificar possíveis situações de avaria ou falha iminente. Ao finalizar esta tarefa é gerado como saída o artefato, Dados de manutenção dos sistemas e componentes analisados, que será utilizado como entrada para a próxima tarefa, Propor as atividades de manutenção. Esta tarefa corresponde ao levantamento das atividades de manutenção que precisam ser realizadas de acordo com a análise dos dados realizada na tarefa anterior. Ao concluir esta tarefa o artefato, Atividades de manutenção propostas, é gerado como saída e, ao mesmo tempo é usado como entrada para a tarefa, Categorizar as atividades de manutenção. Esta tarefa diz respeito à classificação das atividades de manutenção propostas anteriormente de acordo com os tipos de manutenção, ou seja, corretiva, preventiva ou preditiva (SAHOO, 2013). Esta classificação deverá ocorrer em conformidade com os resultados obtidos após a análise dos dados dos sistemas e componentes. No final dessa tarefa o artefato, Atividades de manutenção categorizadas,

é gerado como saída.

A próxima tarefa, Especificar as tarefas preparatórias, diz respeito à identificação de qual(is) tarefa(s) precisam ser executadas antes da efetiva realização das atividades de manutenção, ou seja, definir qual(is) procedimento(s) é(são) necessário(s) para que as atividades de manutenção possam iniciar. Alguns exemplos de tarefa preparatórias são aluguel de andaime, inatividade temporária dos componentes de outro sistema, entre outros. Assim, esta tarefa deverá ser executada até que todas as atividades de manutenção tenham suas tarefas preparatórias especificadas.

Por fim a tarefa, Estabelecer os custos das atividades de manutenção e tarefas preparatórias, determina quais são as despesas associadas às atividades de manutenção e suas respectivas tarefas preparatórias. Esta tarefa deverá ser executada até que todas as atividades de manutenção e tarefas preparatórias tenham seus custos estabelecidos. Os Custo fixo e variável das atividades de manutenção e Custo das tarefas preparatórias são os artefatos de saída desta tarefa.

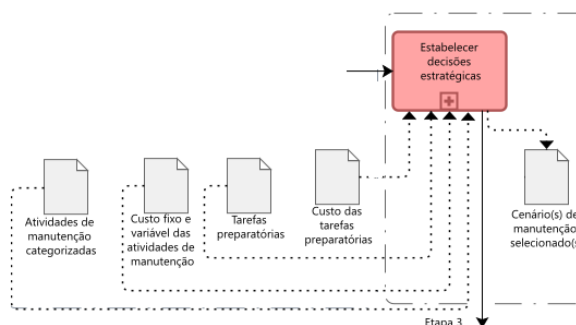
Os Custo fixo e variável estão relacionados as despesas relacionadas as atividades de manutenção que podem ser constantes ou dinâmicas. Os custos fixos são gastos que geralmente não variam com muita frequência, tais como, preço de materiais, ferramentas e aluguel de veículos. Por outro lado, os custos variáveis são aqueles que oscilam com o decorrer do tempo, exemplo, valor da hora do trabalhador e preço da contratação de mão-de-obra terceirizada. Já os Custo das tarefas preparatórias está associado as despesas dos serviços que precisam ser realizados antes do início das atividades de manutenção.

Importante destacar que antes do início da Etapa 2, as fontes de dados candidatas precisam ser previamente adquiridas.

Etapa 3 - Estabelecer as decisões estratégicas

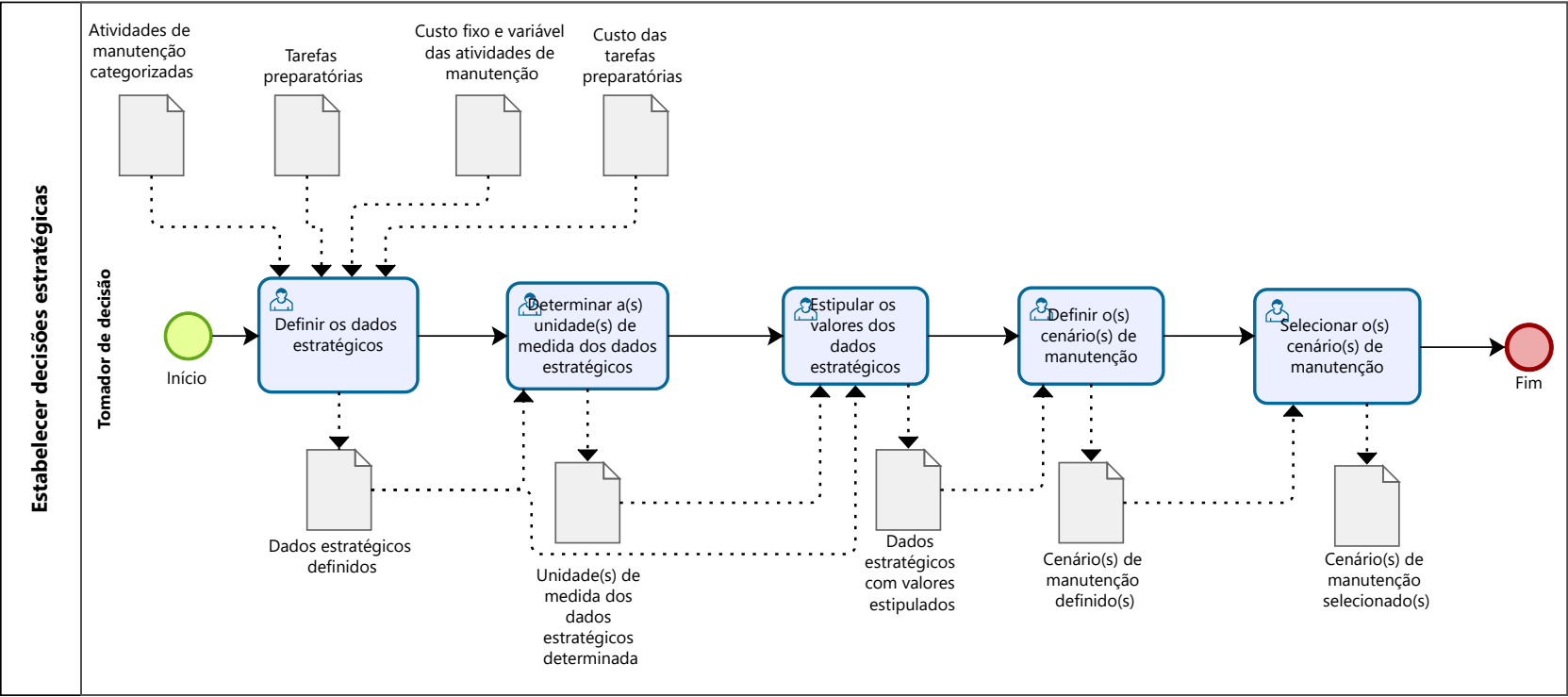
A Figura 32 apresenta o subprocesso da Etapa 3, que corresponde ao estabelecimento das decisões estratégicas. Este, quando expandido, possui cinco tarefas das quais, todas são obrigatórias, de planejamento da priorização e executadas manualmente pelo tomador de decisão, como pode ser visto na Figura 33.

Figura 32 – Etapa 3 do processo SMIPP



Fonte: A autora

Figura 33 – Etapa 3: Estabelecer decisões estratégicas



Fonte: A autora

Em virtude das atividades de manutenção e tarefas preparatórias já terem sido identificadas, a próxima etapa corresponde ao estabelecimento das decisões estratégicas. Esta etapa se inicia com a tarefa, Definir os dados estratégicos, que diz respeito a determinar quais serão as informações consideradas táticas para o planejamento e execução da priorização. Alguns exemplos de dados estratégicos são: o custo de indisponibilidade planejada e não planejada do sistema, início do horizonte de planejamento, tempo e orçamento da manutenção, entre outros. Os dados estratégicos são essenciais para os cálculos que serão realizados nas Etapas 4 (Analisar dependência econômica), 5 (Calcular os custos das dimensões de decisão) e 6 (Calcular os índices).

A próxima tarefa, Determinar a(s) unidade(s) de medida dos dados estratégicos, diz respeito à definição de quais serão as unidades de medidas aplicadas nos dados estratégicos, como por exemplo, medidas temporais (dia, hora, minuto) ou medidas monetárias (dólar e real). Como saída é gerado o artefato, Unidade(s) de medida dos dados estratégicos determinada. A tarefa seguinte, Estipular os valores dos dados estratégicos, corresponde ao estabelecimento dos valores que vão ser atribuídos aos dados estratégicos e, conseqüentemente, influenciarão diretamente nos cálculos posteriores do processo. Esta tarefa produz como artefato de saída, Dados estratégicos com valores estipulados.

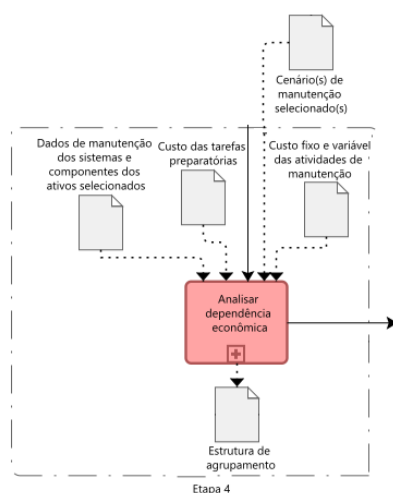
Em sequência, a tarefa, Definir o(s) cenário(s) de manutenção, está relacionada ao estabelecimento dos cenários de manutenção que poderão ser utilizados na priorização, ou seja, pelo fato do processo SMIPP focar em situações com restrição de tempo e orçamento, o tomador de decisão precisará examinar se a priorização deverá considerar limitações temporais, orçamentárias ou ambas. Esta análise é extremamente importante pois, cada cenário possui um efeito, isto é, a consequência que é gerada caso aquele cenário seja aplicado. O efeito de um cenário opera diretamente sobre um determinado dado estratégico através de uma operação aritmética (subtração, soma, multiplicação ou divisão) em um valor estipulado que pode ser porcentagem ou não, como por exemplo, um cenário de restrição de tempo com -20% em relação ao tempo de manutenção significa dizer que o dado estratégico (tempo de manutenção) sofrerá um perda (operação de subtração) de menos 20% (valor em porcentagem). Essa tarefa recebe como artefato de entrada, Dados estratégicos com valores estipulados e gera como saída, Cenário(s) de manutenção definido(s).

A última tarefa deste subprocesso, Selecionar o(s) cenário(s) de manutenção, está relacionada com a escolha de qual cenário de manutenção o tomador de decisão irá utilizar na priorização. Esta definição deverá ser feita de acordo com qual contexto deseja-se prognosticar. Essa tarefa produz como artefato de saída, Cenário(s) de manutenção selecionado(s), pelo tomador de decisão.

Etapa 4 - Analisar a dependência econômica

A Figura 34 apresenta o subprocesso da Etapa 4, que corresponde à análise da dependência econômica. Este, quando expandido, possui três subprocessos e sete tarefas das quais, todas são obrigatórias, de planejamento da priorização e executadas automaticamente pelo sistema, como pode ser visto na Figura 35.

Figura 34 – Etapa 4 do processo SMIPP

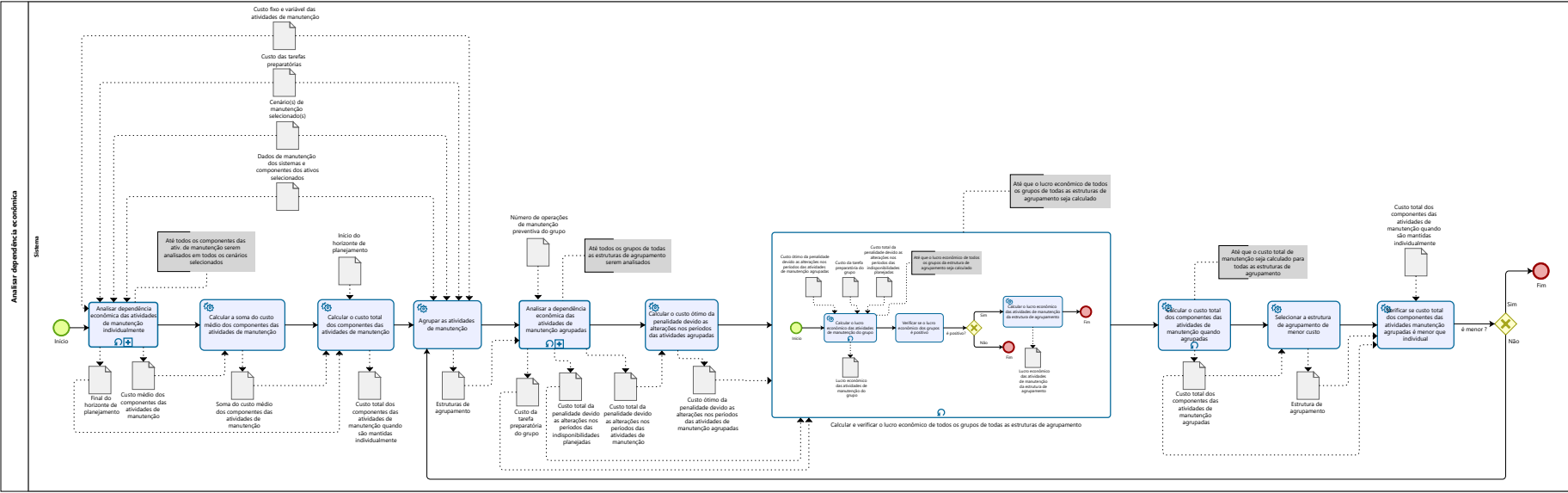


Fonte: A autora

Neste ponto tem início o subprocesso, Analisar dependência econômica das atividades de manutenção individualmente, que está relacionado a verificação da dependência econômica das atividades de manutenção quando executadas isoladamente. Este subprocesso é composto por seis tarefas, são elas:

- Calcular o custo da atividade de manutenção preventiva;
- Calcular o custo da atividade de manutenção corretiva;
- Calcular a idade ótima de substituição preventiva;
- Calcular o período da atividade de manutenção preventiva do componente;
- Determinar o final do horizonte de planejamento;
- Calcular o custo médio do componente.

Figura 35 – Etapa 4: Analisar dependência econômica



Fonte: A autora

A Figura 36 exibe o detalhamento da Etapa 4 no tocante ao subprocesso Analisar dependência econômica das atividades de manutenção individualmente.

A primeira tarefa, Calcular o custo da atividade de manutenção preventiva, corresponde ao cálculo das despesas relativas as atividades de manutenção preventiva dos componentes dos ativos selecionados na Etapa 1. Portanto, para executar o cálculo desta tarefa a fórmula 4.1 é executada, recebendo como entrada os artefatos, Dados estratégicos dos cenário(s) de manutenção selecionado(s), Dados de manutenção dos sistemas e componentes dos ativos selecionados, Custo fixo e variável das atividades de manutenção e, Custo das tarefas preparatórias. Importante destacar que os dois primeiros artefatos são utilizados como entrada para todas as tarefas deste subprocesso.

$$C_i^p = S^p + C_f^p + C_v^p + \pi_i \cdot C_{sys}^p \quad (4.1)$$

sendo S^p custo das atividades preparatórias de manutenção preventiva, C_f^p e C_v^p custo fixo e variável das atividades de manutenção preventiva, π_i indicador se o componente é crítico ($\pi_i = 1$) ou não ($\pi_i = 0$) e C_{sys}^p custo de indisponibilidade planejada do sistema. Ao final desta tarefa, o artefato, Custo da atividade de manutenção preventiva do componente, é gerado como saída.

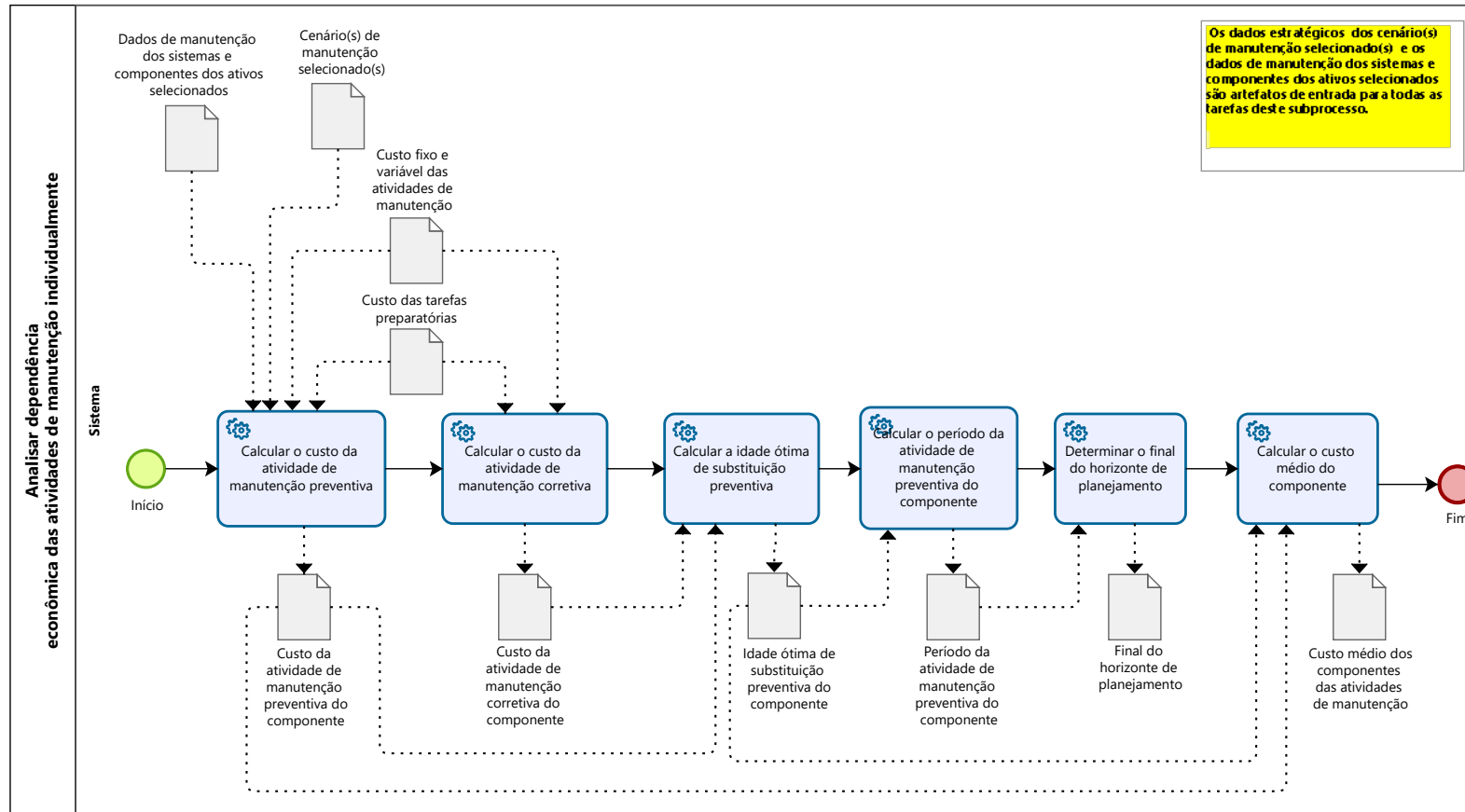
A próxima tarefa, Calcular o custo da atividade de manutenção corretiva, diz respeito ao cálculo das despesas relacionadas as atividades de manutenção corretiva dos componentes dos ativos selecionados. Assim, para executar o cálculo desta tarefa a fórmula 4.2 é executada. No final desta tarefa, o artefato de saída, Custo da atividade de manutenção corretiva do componente, é gerado.

$$C_i^c = S^c + C_f^c + C_v^c + \pi_i \cdot C_{sys}^u \quad (4.2)$$

sendo S^c custo das atividades preparatórias de manutenção corretiva, C_f^c e C_v^c custo fixo e variável das atividades de manutenção corretiva, π_i indicador se o componente é crítico ($\pi_i = 1$) ou não ($\pi_i = 0$) e C_{sys}^u custo de indisponibilidade não planejada do sistema. Ao final desta tarefa, o artefato, Custo da atividade de manutenção corretiva do componente, é gerado como saída.

Em seguida a tarefa, Calcular a idade ótima de substituição preventiva, é realizada. Esta tarefa corresponde ao cálculo da momento mais otimizado para substituir preventivamente os componentes dos ativos selecionados. Logo, para executar o cálculo desta tarefa a fórmula 4.3 é executada. Este produz como saída o artefato, Idade ótima de substituição preventiva do componente.

Figura 36 – Etapa 4: Analisar a dependência econômica das atividades de manutenção individualmente



Fonte: A autora

$$x_i^* = \lambda_i \sqrt[\beta_i]{\frac{C_i^p}{C_i^c(\beta_i - 1)}} \quad (4.3)$$

sendo λ_i o parâmetro *alfa*, β_i o parâmetro *beta*, C_i^p custo da atividade de manutenção preventiva e C_i^c custo da atividade de manutenção corretiva. Inclusive, para obter os valores de *alfa* e *beta* foi utilizada a distribuição de *Weibull* pelo fato dela ser 1) amplamente utilizada na literatura, devido a sua versatilidade e simplicidade para calcular a probabilidade de falha dos componentes (YAVUZ, 2013) e (ZHAI et al., 2013), 2) possuir biblioteca disponível no *PyPI* para engenharia de confiabilidade (FOUNDATION, 2013) com suporte de diversos desenvolvedores da comunidade e, 3) ser utilizadas nos trabalhos de Vu (2015) e Nguyen (2019) utilizado, nessa pesquisa, como alicerce para a etapa da análise da dependência econômica.

Posteriormente a tarefa, Calcular o período da atividade de manutenção preventiva do componente, é feita. Esta tarefa está relacionada ao cálculo do momento em que atividade de manutenção preventiva dos componentes dos ativos selecionados deve ser realizada. Portanto, para executar o cálculo desta tarefa a fórmula 4.4 é executada produzindo o artefato, Período da atividade de manutenção preventiva do componente, como saída.

$$t_{i1} = (x_i^* - age(T_{inicio})) + T_{inicio} \quad (4.4)$$

sendo x_i^* a idade ótima de substituição preventiva do componente, o termo $age(T_{inicio})$ a idade do componente na data de início do horizonte de planejamento e T_{inicio} início do horizonte de planejamento.

Na sequência a tarefa, Determinar o final do horizonte de planejamento, é executada. Esta tarefa diz respeito à obtenção de qual o período máximo das atividades de manutenção preventiva dos componentes dos ativos selecionados. Assim, para obter essa informação a fórmula 4.5 é executada e o artefato, Final do horizonte de planejamento, é gerado.

$$T_{fim} = \max_i t_{i1} \in i = (1, 2, \dots, n) \quad (4.5)$$

sendo o termo $\max_i t_{i1}$ o período máximo das atividades de manutenção preventiva.

Mais adiante a tarefa, Calcular o custo médio do componente, é a última tarefa realizada este subprocesso. Esta tarefa corresponde ao cálculo do valor médio dos componentes dos ativos selecionados. Assim, para calcular essa informação a fórmula 4.6 é executada e o artefato de saída, Custo médio dos componentes das atividades de manutenção, é produzido.

$$C_i^* = \frac{C_i^p \beta_i}{x_i^*(\beta_i - 1)} \quad (4.6)$$

sendo C_i^p custo da atividade de manutenção preventiva, β_i o parâmetro *beta* e x_i^* a idade ótima de substituição preventiva do componente.

Vale salientar que todas as tarefas deste subprocesso devem ser repetidas até todos os componentes das atividades de manutenção serem analisados em todos os cenários selecionados.

Continuando o subprocesso, Análise da dependência econômica, a tarefa, Calcular a soma do custo médio dos componentes das atividades de manutenção, está relacionada ao somatório de todos os custos médios de todas as atividades de manutenção de todos os componentes dos sistemas de todos os ativos selecionados. Assim, para calcular essa informação a fórmula 4.7 é executada gerando como artefato de saída, Soma do custo médio dos componentes das atividades de manutenção.

$$C_{sys}^{\overline{SG}} = \sum_{i=1}^n C_i^* \quad (4.7)$$

sendo o termo $\sum_{i=1}^n C_i^*$ o somatório dos custos médios dos componentes das atividades de manutenção.

De forma semelhante ocorre com a tarefa, Calcular o custo total dos componentes das atividades de manutenção, na qual é calculado o somatório dos custos médios dos componentes das atividades de manutenção multiplicado pela diferença entre o final e o início do horizonte de planejamento. Assim, para calcular essa informação a fórmula 4.8 é executada recebendo como entrada a soma do custo médio dos componentes das atividades de manutenção, o início e o final do horizonte de planejamento. E produzindo como artefato de saída, Custo total dos componentes das atividades de manutenção quando são mantidas individualmente.

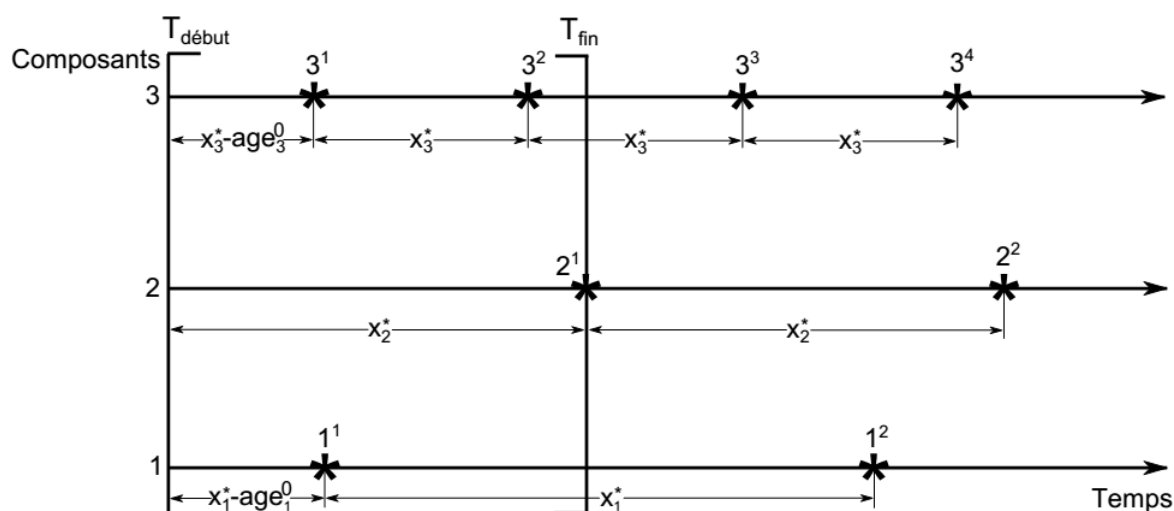
$$CT_{sys}^{\overline{SG}} = C_{sys}^{\overline{SG}} \cdot (T_{fim} - T_{inicio}) \quad (4.8)$$

sendo $C_{sys}^{\overline{SG}}$ a soma do custo médio dos componentes das atividades de manutenção, T_{inicio} e T_{fim} o início e o final do horizonte de planejamento.

Visto que as atividades de manutenção dos componentes dos ativos e as tarefas preparatórias foram identificadas, a próxima tarefa, Agrupar as atividades de manutenção, diz respeito a reunir, em no mesmo grupo, as atividades de manutenção que possuem maior semelhança e, em grupos diferentes as atividades de manutenção de maior discrepância. Antes de continuar a descrição desta tarefa faz-se necessário o entendimento do conceito de Estruturas de agrupamentos que é o artefato de saída gerado por ela.

De acordo com Vu (2015) e Nguyen (2019) estruturas de agrupamentos são atividades de manutenção agrupadas e organizadas em diferentes arranjos que serão realizadas dentro do horizonte de planejamento estabelecido. Por exemplo, a Figura 37 ilustra um espaço cartesiano com eixo x e y no qual o primeiro indica o tempo e, o segundo os componentes de um sistema com três componentes. Além disso, também são retratadas as atividades de manutenção ao longo do horizonte de planejamento.

Figura 37 – Exemplo do planejamento de um sistema



Fonte: (VU, 2015)

A fim de facilitar o entendimento da Figura 37 a Tabela 40 descreve os elementos (componentes do sistema, atividades de manutenção, etc) com suas respectivas representações.

Tabela 40 – Descrição do exemplo de uma estrutura de agrupamento

Representação	Descrição
1, 2 e 3	Componentes do sistema selecionado
1^1 , 2^1 , 3^1 e 3^2	Atividades de manutenção
G^1 e G^2	Grupos da estrutura de agrupamento

Fonte: A autora

Através da Figura 37 e da Tabela 40 é possível observar que dentro do período estabelecido para o horizonte de planejamento a atividade de manutenção 1^1 está relacionada ao componente 1, a atividade 2^1 ao componente 2 e, 3^1 e 3^2 ao componente 3. Considerando uma estrutura de agrupamento composta por dois grupos com a seguinte distribuição de atividades de manutenção $G^1 = 1^1$ e 3^1 e $G^2 = 2^1$ e 3^2 a representação de codificação dessa estrutura de agrupamento seria de acordo com a Figura 38 no qual os algarismos 1 e 2 indicaria os grupos G^1 e G^2 respectivamente.

Figura 38 – Exemplo de codificação de uma estrutura de agrupamento

$x(1')$	$x(2')$	$x(3')$	$x(3'')$
1	2	1	2

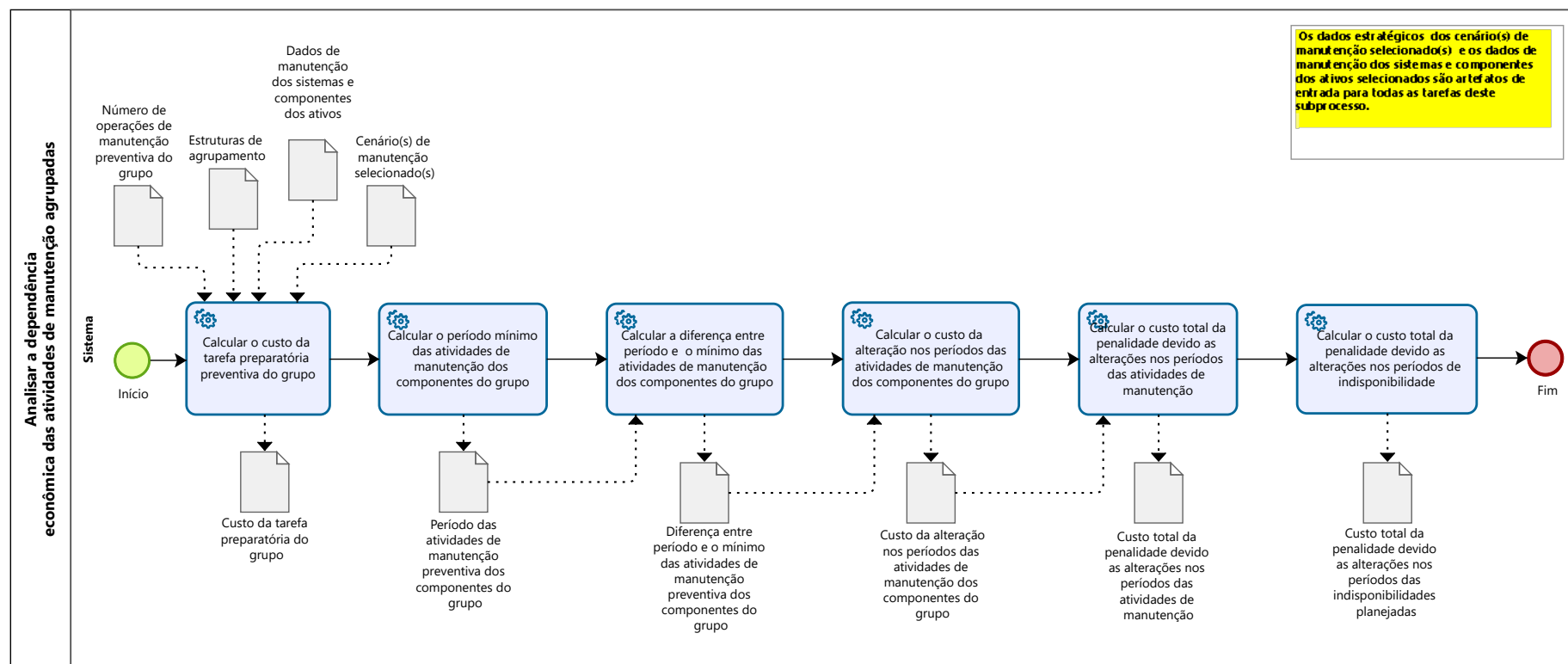
Fonte: (VU, 2015)

Continuando a descrição da tarefa, Agrupar as atividades de manutenção, ela recebe como entrada quatro artefatos, são eles, Custo fixo e variável das atividades de manutenção, Custo das tarefas preparatórias, Cenário(s) de manutenção selecionado(s) e Dados de manutenção dos sistemas e componentes dos ativos selecionados. E, gera como artefato de saída, Estruturas de agrupamentos.

Vale salientar que as estruturas de agrupamentos são utilizadas como a população inicial para o algoritmo de otimização que será executado no próximo subprocesso, Analisar a dependência econômica das atividades de manutenção agrupadas. Ele corresponde a verificação, através de um algoritmo de otimização, do custo de realizar as atividades de manutenção agrupadas.

Este subprocesso, possui seis tarefas como pode ser visualizado na Figura 39.

Figura 39 – Etapa 4: Analisar a dependência econômica das atividades de manutenção agrupadas



Fonte: A autora

A primeira tarefa, Calcular o custo da tarefa preparatória preventiva de um grupo, está relacionada ao cálculo das despesas relativas as tarefas preparatórias de manutenção preventiva de um determinado grupo de uma estrutura de agrupamento específica. Portanto, para executar o cálculo desta tarefa a fórmula 4.9 é executada, recebendo como entrada os artefatos, Cenário(s) de manutenção selecionado(s), Dados de manutenção do sistema e componentes dos ativos, Estruturas de agrupamento e Número de operações de manutenção preventiva do grupo. E, gerando como artefato de saída, Custo da tarefa preparatória preventiva do grupo. Importante destacar que os três primeiros artefatos são utilizados como entrada para todas as tarefas deste subprocesso.

$$U_{G^k} = [card(G^k) - 1].S^p \quad (4.9)$$

sendo o termo $card(G^k)$ o número de operações de manutenção preventiva do grupo e S^p custo das atividades preparatórias de manutenção preventiva.

Posteriormente a tarefa, Calcular o período mínimo das atividades de manutenção dos componentes do grupo, é feita. Esta tarefa está relacionada a verificação dos momentos de realização das atividades de manutenção dos componentes de um grupo simultaneamente e, obtenção do menor.

Portanto, para executar o cálculo desta tarefa a fórmula 4.10 é executada, produzindo como saída o artefato, Período mínimo das atividades de manutenção preventiva dos componentes do grupo.

$$t_{G^k} = \min_{i \in G^k} t_i \quad (4.10)$$

sendo o termo $\min_{i \in G^k} t_i$ o período mínimo das atividades de manutenção dos componentes do grupo.

Na sequência a tarefa, Calcular a diferença entre período e o mínimo das atividades de manutenção dos componentes do grupo, é executada. Esta tarefa diz respeito ao cálculo da diferença entre o período mínimo das atividades de manutenção dos componentes do grupo e período das atividades de manutenção. Assim, para obter essa informação a fórmula 4.11 é executada e o artefato, Diferença entre período e o mínimo das atividades de manutenção preventiva dos componentes do grupo, é gerado.

$$\Delta t_{ij} = t_{G^k} - t_{ij} \quad (4.11)$$

sendo t_{G^k} o período mínimo das atividades de manutenção dos componentes do grupo e t_{ij} período das atividades de manutenção.

Mais adiante a tarefa, Calcular o custo da alteração nos períodos das atividades de manutenção dos componentes do grupo, corresponde ao cálculo da despesa relativa as modificações nos momentos de realização das atividades de manutenção de um componente de um grupo. Portanto, para calcular essa informação a fórmula 4.12 é executada e o artefato de saída, Custo da alteração nos períodos das atividades de manutenção dos componentes do grupo, é produzido.

$$h_i(\Delta t_{ij}) = C_i^c \cdot \left(\frac{x_i^* + \Delta t_{ij}}{\lambda_i} \right)^{\beta_i} - C_i^c \cdot \left(\frac{x_i^*}{\lambda_i} \right)^{\beta_i} - \Delta t_{ij} \cdot \frac{C_i^p \beta_i}{x_i^* (\beta_i - 1)} \quad (4.12)$$

sendo C_i^c custo da atividade de manutenção corretiva, x_i^* a idade ótima de substituição preventiva do componente, Δt_{ij} a diferença entre período e o mínimo das atividades de manutenção preventiva dos componentes do grupo, λ_i o parâmetro *alfa*, β_i o parâmetro *beta* e C_i^p custo da atividade de manutenção preventiva.

Em seguida a tarefa, Calcular o custo total da penalidade devido as alterações nos períodos das atividades de manutenção, é executada. Esta tarefa diz respeito ao somatório de todos os custos das modificações nos momentos de realização das atividades de manutenção dos componentes de um grupo pois, com o intuito de reduzir custos, as atividades de manutenção de um grupo deverão ser executadas todas simultaneamente no período de execução do grupo. Dessa forma, para obter essa informação a fórmula 4.13 é executada e o artefato, Custo total da penalidade devido as alterações nos períodos das atividades de manutenção, é gerado.

$$\Delta H_{G^k}^1(t_{G^k}) = \sum_{ij \in G^k} h_i(\Delta t_{ij}) \quad (4.13)$$

sendo o termo $\sum_{ij \in G^k} h_i(\Delta t_{ij})$ o somatório do custo da alteração nos períodos das atividades de manutenção dos componentes do grupo.

Por fim a tarefa, Calcular o custo total da penalidade devido as alterações nos períodos de indisponibilidade, refere-se a despesa total acarretada pelas modificações nos momentos de indisponibilidade planejadas de um grupo. Assim, para obter essa informação a fórmula 4.14 é executada e o artefato, Custo total da penalidade devido as alterações nos períodos das indisponibilidades planejadas, é gerado.

$$\Delta H_{G^k}^2 = C_{sys}^p \cdot (\pi_{G^k} - \sum_{ij \in G^k} \pi_i) \quad (4.14)$$

sendo C_{sys}^p custo de indisponibilidade planejada do sistema, π_{G^k} indicador se o grupo é crítico ($\pi_{G^k} = 1$) ou não ($\pi_{G^k} = 0$) e $\sum_{ij \in G^k} \pi_i$ somatório do indicador de criticidade de todos os componentes do grupo.

Importante destacar que todas as tarefas deste subprocesso devem ser repetidas até todos os grupos de todas as estruturas de agrupamento serem analisados.

Continuando o subprocesso, Análise da dependência econômica, a tarefa, Calcular o custo ótimo da penalidade devido as alterações nos períodos das atividades agrupadas, está relacionada a aquisição do menor valor do custo ótimo da penalidade devido as alterações nos períodos das atividades de manutenção dos componentes de um grupo. Portanto, para calcular essa informação a fórmula 4.15 é executada gerando como artefato de saída, Custo ótimo da penalidade devido as alterações nos períodos das atividades de manutenção agrupadas.

$$\Delta H_{G^k}^{1*} = \min_{t_{G^k}} \Delta H_{G^k}^1(t_{G^k}) \quad (4.15)$$

sendo o termo $\min_{t_{G^k}} \Delta H_{G^k}^1(t_{G^k})$ o mínimo valor do custo total da penalidade devido as alterações nos períodos das atividades de manutenção do grupo.

Neste ponto o subprocesso, Calcular e verificar o lucro econômico de todos os grupos de todas as estruturas de agrupamento, se inicia. Portanto, a primeira tarefa é, Calcular o lucro econômico das atividades de manutenção do grupo. Esta tarefa está relacionada com o cálculo do lucro econômico que é gerado pelas atividades de manutenção de todos os componentes de um grupo. Assim, para calcular essa informação a fórmula 4.16 é executada recebendo como entrada, Custo ótimo da penalidade devido as alterações nos períodos das atividades de manutenção agrupadas, Custo da tarefa preparatória do grupo e Custo total da penalidade devido as alterações nos períodos das indisponibilidades planejadas. E gerando como artefato de saída, Lucro econômico das atividades de manutenção do grupo.

$$PE(G^k) = U_{G^k} - \Delta H_{G^k}^{1*} - \Delta H_{G^k}^2 \quad (4.16)$$

sendo U_{G^k} o custo da tarefa preparatória preventiva do grupo, $\Delta H_{G^k}^{1*}$ custo ótimo da penalidade devido as alterações nos períodos das atividades de manutenção agrupadas e $\Delta H_{G^k}^2$ custo total da penalidade devido as alterações nos períodos das indisponibilidades planejadas.

Vale salientar que todas as tarefas deste subprocesso devem ser repetidas até que o lucro econômico de todos os grupos da estrutura de agrupamento seja calculado.

Em seguida a tarefa, Verificar se o lucro econômico dos grupos é positivo, é realizada. Esta tarefa refere-se à verificação sobre o valor calculado do lucro econômico. Caso o valor seja negativo o processo finaliza pois, com o lucro econômico menor que zero as atividades de manutenção devem ser realizadas separadamente pelo fato de que agrupá-las significa dependência econômica negativa. Por outro lado, caso o valor seja positivo a próxima

tarefa é realizada, ou seja, Calcular o lucro econômico das atividades de manutenção da estrutura de agrupamento. Esta tarefa diz respeito ao cálculo do lucro econômico das atividades de manutenção de todos os componentes de todos os grupos da estrutura de agrupamento. Dessa forma, para calcular essa informação a fórmula 4.17 é executada produzindo como artefato de saída, Lucro econômico das atividades de manutenção da estrutura de agrupamento.

$$PET(SG) = \sum_{G^k \in SG} PE(G^k) \quad (4.17)$$

sendo o termo $\sum_{G^k \in SG} PE(G^k)$ o somatório do lucro econômico das atividades de manutenção dos grupos da estrutura de agrupamento.

Relevante ressaltar que este subprocesso deve ser repetido até que lucro econômico de todos os grupos de todas as estruturas de agrupamento sejam calculado.

Dando sequência ao subprocesso, Análise da dependência econômica, a tarefa, Calcular o custo total dos componentes das atividades de manutenção quando agrupadas, está relacionada ao cálculo da diferença entre o custo total de manutenção dos componentes quando mantidos individualmente e o lucro econômico das atividades de manutenção da estrutura de agrupamento. Assim, para calcular essa informação a fórmula 4.18 é executada produzindo como artefato de saída, Custo total dos componentes das atividades de manutenção agrupadas.

$$CT_{sys}^{\bar{SG}} = CT_{sys}^{\bar{SG}} - PET(SG) \quad (4.18)$$

sendo $CT_{sys}^{\bar{SG}}$ o custo total dos componentes das atividades de manutenção quando são mantidas individualmente e $PET(SG)$ o lucro econômico das atividades de manutenção da estrutura de agrupamento.

Importante mencionar que esta tarefa deve ser repetida até que o custo total de manutenção seja calculado para todas as estruturas de agrupamento.

Mais adiante a penúltima tarefa, Selecionar a estrutura de agrupamento de menor custo, corresponde a verificação dos custos totais de manutenção agrupada dos componentes de todas as estruturas de agrupamento e, escolha da estrutura de agrupamento que possui o menor custo. Essa tarefa recebe como entrada, Custo total dos componentes das atividades de manutenção agrupadas, e produz como saída, Estrutura de agrupamento selecionada.

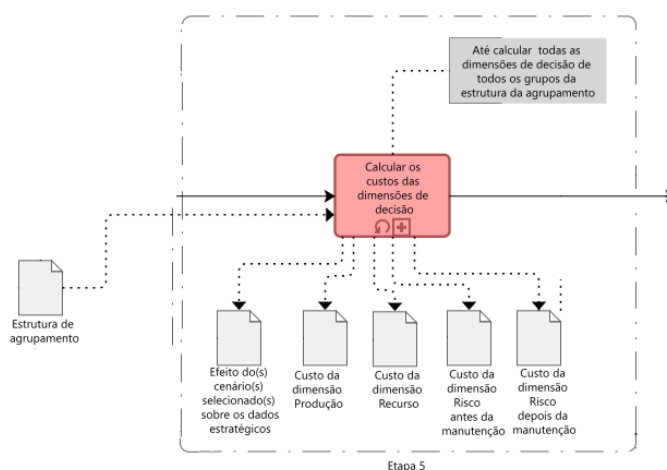
Por fim a última tarefa, Verificar se custo total dos componentes das atividades manutenção agrupadas é menor que individual, refere-se a comparação entre os valores do custo total dos componentes das atividades manutenção individual e agrupada. Caso o custo total dos componentes das atividades manutenção agrupadas seja menor que o indi-

vidual o processo é finalizado. Caso seja maior então, será preciso retornar para a tarefa, Agrupar as atividades de manutenção, e executar todas as tarefas, deste ponto em diante, novamente.

Etapa 5 - Calcular os custos das dimensões de decisão

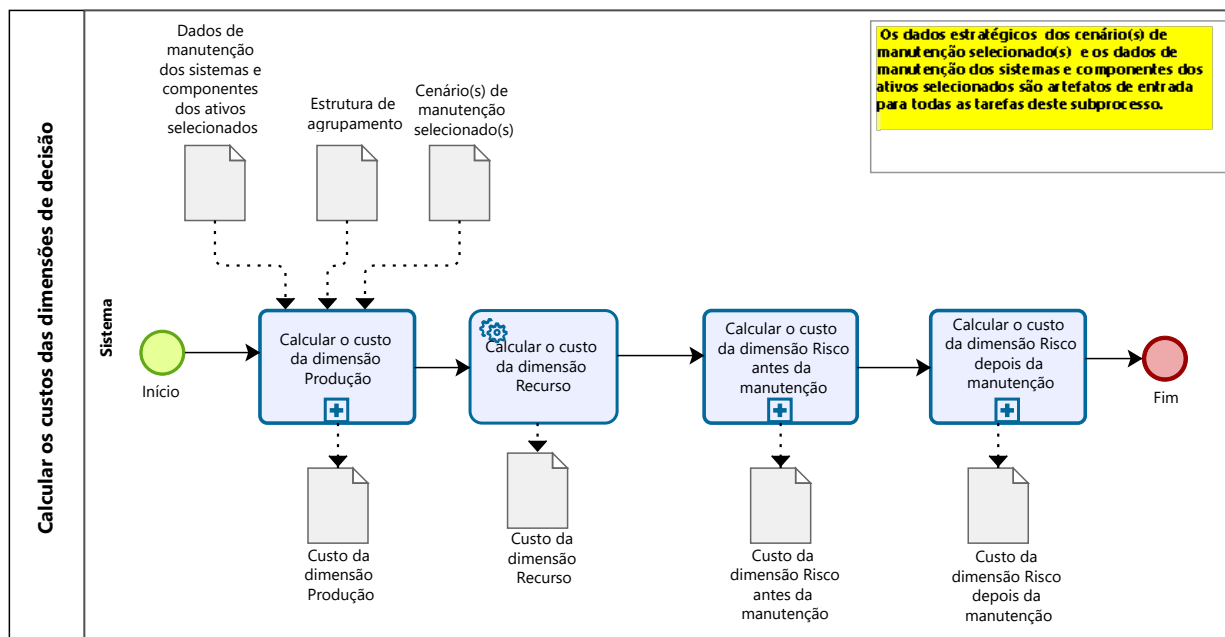
A Figura 40 apresenta o subprocesso da Etapa 5, que corresponde ao cálculo dos custos das dimensões de decisão. Este, quando expandido, possui três subprocessos e uma tarefa da quais, todas são obrigatórias, de planejamento da priorização e executadas automaticamente pelo sistema, como pode ser visto na Figura 41.

Figura 40 – Etapa 5 do processo SMIPP



Fonte: A autora

Figura 41 – Etapa 5: Calcular os custos das dimensões de decisão



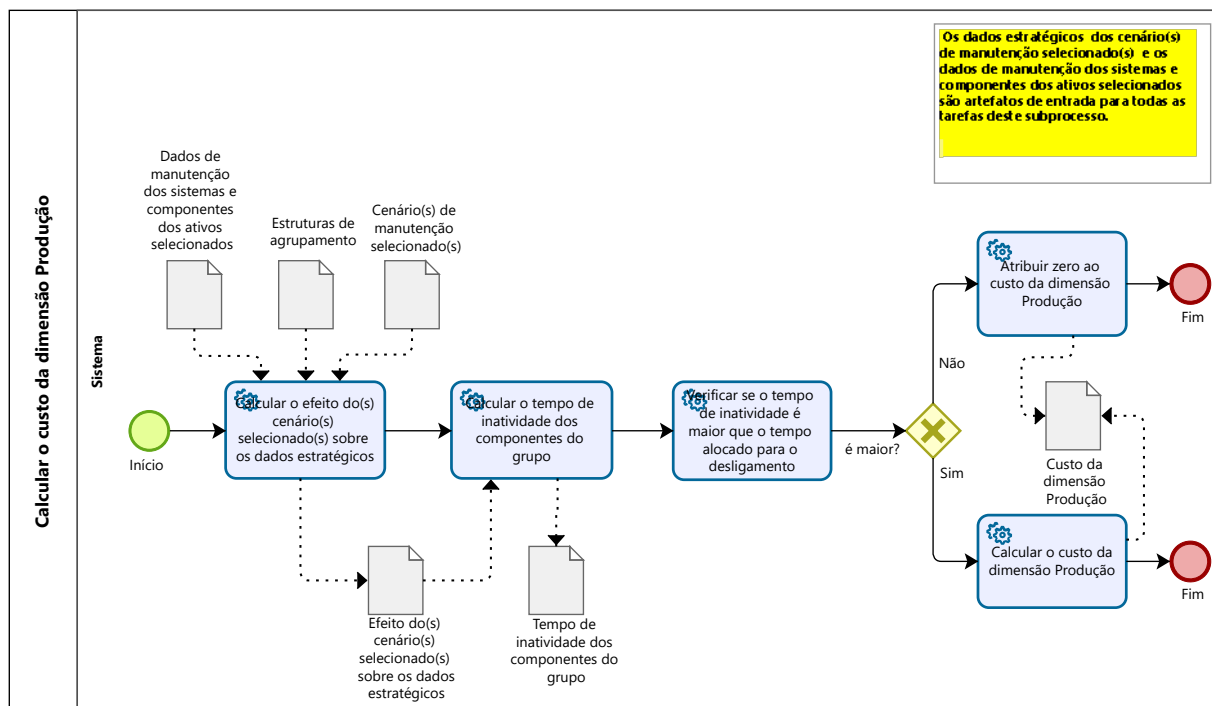
Fonte: A autora

Esta etapa tem início o subprocesso, Calcule os custos das dimensões de decisão, que corresponde ao cálculo das despesas relativas as dimensões de produção, recurso e, risco antes e depois da manutenção. O primeiro subprocesso, Calcular custo da dimensão Produção, é composto por cinco tarefas, são elas:

- Calcular o efeito do(s) cenário(s) selecionado(s) sobre os dados estratégicos;
- Calcular o tempo de inatividade dos componentes do grupo;
- Verificar se o tempo de inatividade é maior que o tempo alocado para o desligamento;
- Atribuir zero ao custo da dimensão Produção;
- Calcular o custo da dimensão Produção.

A Figura 42 exhibe o detalhamento deste subprocesso.

Figura 42 – Etapa 5: Calcular custo da dimensão Produção



Fonte: A autora

A primeira tarefa, Calcular o efeito do(s) cenário(s) selecionado(s) sobre os dados estratégicos, diz respeito ao cálculo do(s) efeito(s) do(s) cenário(s) selecionado(s) com relação aos valores estabelecidos nos dados estratégicos. Assim, para calcular essa informação é preciso verificar os seguintes itens: os dados estratégicos que vão ser impactados pelo efeito, a operação aritmética que será aplicada, o valor do efeito e se o efeito incidirá diretamente no valor ou será em porcentagem. Esta tarefa recebe como entrada os artefatos, Cenário(s) de manutenção selecionado(s), Dados de manutenção dos sistemas e componentes dos ativos selecionados e dos componentes e, Estruturas de agrupamento. Importante destacar que todos os artefatos citados são utilizados como entrada para todas as tarefas deste subprocesso. O artefato, Efeito do(s) cenário(s) selecionado(s) sobre os dados estratégicos, é gerado como saída.

Em seguida a tarefa, Calcular o tempo de inatividade dos componentes do grupo, é executada. Esta tarefa diz respeito ao somatório do tempo de inatividade de todos os componentes do grupo. O artefato, Tempo de inatividade dos componentes do grupo, é gerado como saída.

Neste momento a próxima tarefa, Verificar se o tempo de inatividade é maior que o tempo alocado para o desligamento, corresponde a analisar se o tempo de inatividade, que os componentes vão ficar indisponíveis, é maior que o tempo alocado para o desligamento de acordo com o planejamento. Caso não seja então, é atribuído zero ao custo da dimensão Produção. Caso contrário, esse custo é calculado por meio da fórmula 4.19. No final dessa

tarefa o artefato, Custo da dimensão Produção, é gerado.

$$ODC = (DT - AST).C_{sys}^p \quad (4.19)$$

sendo DT o tempo de inatividade, AST tempo alocado para o desligamento e C_{sys}^p custo de indisponibilidade planejada do sistema.

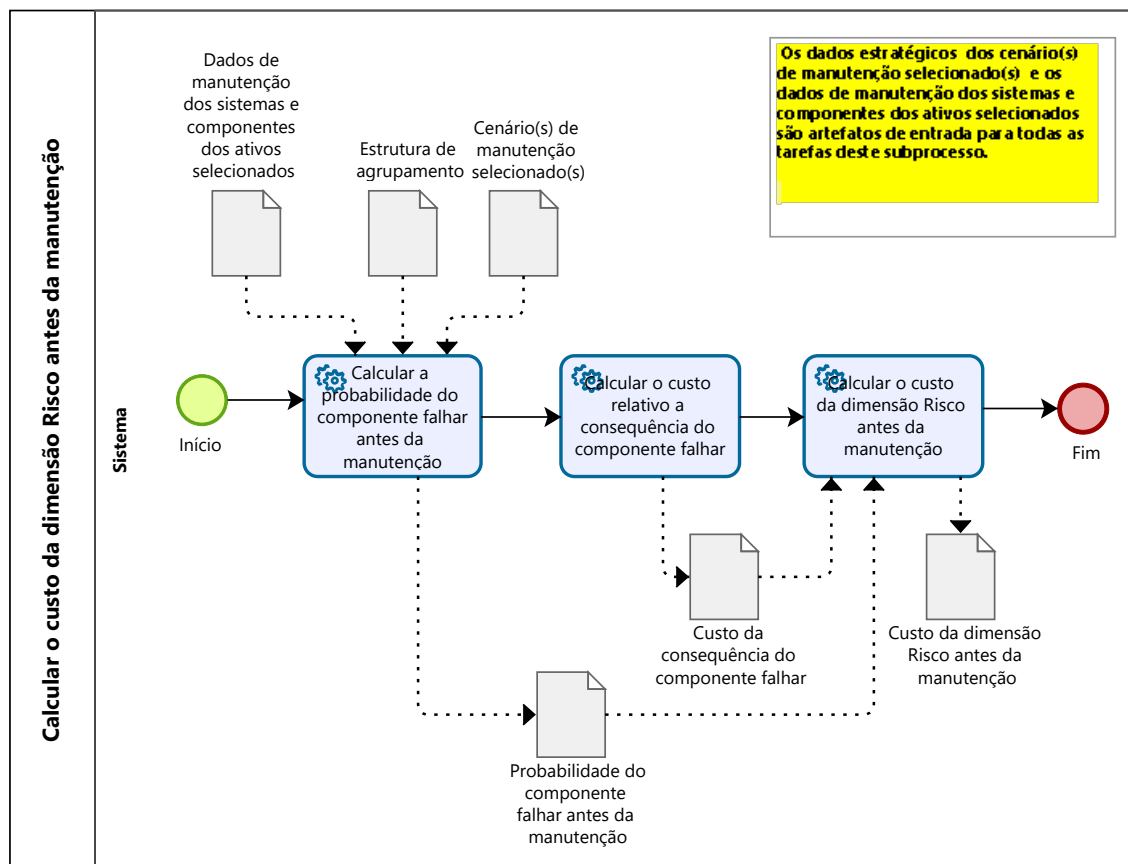
Continuando o subprocesso, Calcule os custos das dimensões de decisão, a tarefa, Calcular custo da dimensão Recurso, é executada. Esta tarefa está relacionada com o cálculo do custo dos recursos que serão necessários para executar as atividades de manutenção, durante tempo de inatividade. O cálculo desta tarefa ocorre através da fórmula 4.20 produzindo como artefato saída, Custo da dimensão Recurso.

$$ReDC = (C_f^c + DT).C_v^c \quad (4.20)$$

sendo C_f^c e C_v^c custo fixo e variável das atividades de manutenção corretiva e DT o tempo de inatividade.

Mais adiante ocorre o subprocesso, Calcular custo da dimensão Risco antes da manutenção, se inicia. A Figura 43 corresponde ao detalhamento deste subprocesso.

Figura 43 – Etapa 5: Dimensão Risco antes da manutenção



Fonte: A autora

O referido subprocesso possui três tarefas, a primeira, Calcular a probabilidade do componente falhar antes da manutenção, corresponde ao cálculo da probabilidade de falha iminente anteriormente a execução da manutenção. Assim, para calcular essa informação a fórmula 4.21 é executada recebendo como entrada os artefatos: Estrutura de agrupamento, Cenário(s) de manutenção selecionado(s) e Dados de manutenção dos sistemas e componentes dos ativos selecionados. Importante destacar que todos os artefatos citados são utilizados como entrada para todas as tarefas deste subprocesso. E, como é produzido como saída o artefato, Probabilidade do componente falhar antes da manutenção. Importante destacar que os artefatos, Dados estratégicos dos cenário(s) de manutenção selecionado(s), Dados de manutenção do sistema e dos componentes, são utilizados como entrada para todas as tarefas.

$$h(A_{ij}) = \frac{\beta_i}{\lambda_i} \cdot \left(\frac{A_{ij}}{\lambda_i} \right)^{\beta_i - 1} \quad (4.21)$$

sendo λ_i o parâmetro *alfa*, β_i o parâmetro *beta* e A_{ij} idade efetiva do componente antes da manutenção.

A tarefa seguinte, Calcular o custo relativo a consequência do componente falhar, diz respeito às despesas econômicas oriundas das consequências de falha nos componentes dos ativos selecionados. Portanto, para calcular essa informação a fórmula 4.22 é executada produzindo como saída o artefato, Custo da consequência do componente falhar.

$$C_{conseq} = (DT.C_{sys}^P) + (C_f^c + DT.C_v^c) \quad (4.22)$$

sendo C_f^c e C_v^c custo fixo e variável das atividades de manutenção corretiva, DT o tempo de inatividade e C_{sys}^P custo de indisponibilidade planejada do sistema.

A última tarefa deste subprocesso, Calcular o custo da dimensão Risco antes da manutenção, está relacionada a multiplicação da probabilidade de falha iminente antes da manutenção pelo custo da consequência de falha. Dessa maneira, para calcular essa informação a fórmula 4.23 é executada produzindo como saída o artefato, Custo da dimensão Risco antes da manutenção.

$$RDC_{BM} = h(A_{ij}).C_{conseq} \quad (4.23)$$

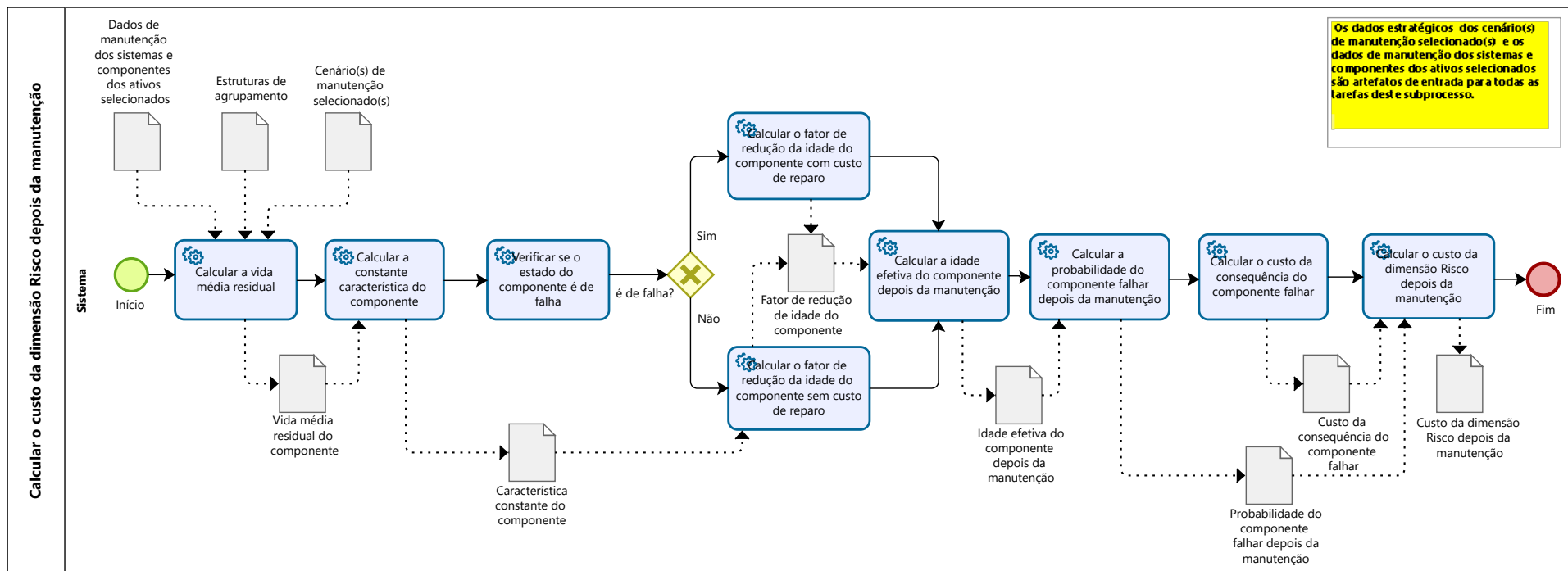
sendo o termo $h(A_{ij})$ a probabilidade do componente falhar antes da manutenção e C_{conseq} custo da consequência do componente falhar.

Dando continuidade ao subprocesso, Calcular os custos das dimensões de decisão, o último subprocesso, Calcular o custo da dimensão Risco depois da manutenção, é iniciado. Este subprocesso é composto por nove tarefas, são elas:

- Calcular a vida média residual;
- Calcular a constante característica do componente;
- Verificar se o estado do componente é de falha;
- Calcular o fator de redução da idade do componente com custo de reparo;
- Calcular o fator de redução da idade do componente sem custo de reparo;
- Calcular a idade efetiva do componente depois da manutenção;
- Calcular a probabilidade do componente falhar depois da manutenção;
- Calcular o custo da consequência do componente falhar;
- Calcular o custo da dimensão Risco depois da manutenção.

A Figura 44 exibe o detalhamento deste subprocesso.

Figura 44 – Etapa 5: Dimensão Risco depois da manutenção



Fonte: A autora

A primeira tarefa, Calcular a vida média residual, corresponde a multiplicação da integral da idade efetiva dos componentes dos ativos antes da manutenção pela confiabilidade em função do tempo (x), dividido pela confiabilidade em função da idade efetiva dos componentes dos ativos antes da manutenção. Assim, para calcular essa informação a fórmula 4.24 é executada recebendo como entrada os artefatos: Estrutura de agrupamento, Cenário(s) de manutenção selecionado(s) e Dados de manutenção dos sistemas e componentes dos ativos selecionados. Importante destacar que todos os artefatos citados são utilizados como entrada para todas as tarefas deste subprocesso. E produzindo como saída o artefato, Vida média residual do componente.

$$MRL = \frac{\int_{A_{ij}}^{\infty} R(x)dx}{R(A_{ij})} \quad (4.24)$$

sendo os termos $\int_{A_{ij}}^{\infty} R(x)dx$ e $R(A_{ij})$ correspondentes a, integral da idade efetiva do componente antes da manutenção, confiabilidade em função do tempo (x) e em função da idade efetiva do componente antes da manutenção.

A tarefa seguinte, Calcular a constante característica do componente, diz respeito a divisão entre a idade efetiva dos componentes dos ativos antes da manutenção e vida média residual. Assim, para calcular essa informação a fórmula 4.25 é executada recebendo como artefato de entrada, Vida média residual do componente e, produzindo como saída, Característica constante do componente.

$$m(A_{ij}) = \frac{A_{ij}}{MRL} \quad (4.25)$$

sendo A_{ij} idade efetiva do componente antes da manutenção e MRL vida média residual.

A próxima tarefa, Verificar se o estado do componente é de falha, consiste no exame dos componentes dos ativos para identificar se o mesmo possui alguma avaria. Caso sim então, a próxima tarefa que a ser executada é, Calcular o fator de redução da idade do componente com custo de reparo. Dessa forma, para calcular essa informação a fórmula 4.26 é executada recebendo como artefato de entrada, Característica constante do componente.

$$b(I_{ij}) = 1 - \left(\frac{C_{ij}(I_{ij}) - C_{ij}^{MR}}{C_{ij}^R} \right)^{m(A_{ij})} \quad (4.26)$$

sendo o termo $C_{ij}(I_{ij})$ nível de manutenção dos componentes dos ativos, C_{ij}^{MR} custo de reparo, C_{ij}^R custo de substituição e $m(A_{ij})$ característica constante.

Caso o estado do componente não seja de falha então, a tarefa, Calcular o fator de redução da idade do componente sem custo de reparo, é realizada. Assim, para calcular

essa informação a fórmula 4.27 é executada recebendo como artefato de entrada, Característica constante do componente. Ambas tarefas, Calcular o fator de redução da idade do componente com custo de reparo e Calcular o fator de redução da idade do componente sem custo de reparo, geram o artefato de saída, Fator de redução de idade do componente.

$$b(I_{ij}) = 1 - \left(\frac{C_{ij}(I_{ij})}{C_{ij}^R} \right)^{m(A_{ij})} \quad (4.27)$$

sendo o termo $C_{ij}(I_{ij})$ nível de manutenção dos componentes dos ativos, C_{ij}^R custo de substituição e $m(A_{ij})$ característica constante.

Na sequência a tarefa, Calcular a idade efetiva do componente depois da manutenção, é realizada. Esta tarefa diz respeito a multiplicação da idade efetiva dos componentes dos ativos antes da manutenção com fator de redução de idade do componente. Portanto, para calcular essa informação a fórmula 4.28 é executada produzindo como artefato de saída, Idade efetiva do componente depois da manutenção.

$$t_{ij} = b_{ij} \cdot A_{ij} \quad (4.28)$$

sendo A_{ij} idade efetiva dos componentes dos ativos antes da manutenção e b_{ij} fator de redução de idade do componente.

Mais adiante a tarefa, Calcular a probabilidade do componente falhar depois da manutenção, é executada. Esta tarefa corresponde ao cálculo da probabilidade de falha iminente depois da manutenção. Desta forma, para calcular essa informação a fórmula 4.30 é executada recebendo como entrada o artefato, Idade efetiva do componente depois da manutenção, e produzindo como saída, Probabilidade do componente falhar depois da manutenção.

$$h(t_{ij}) = \frac{\beta_i}{\lambda_i} \cdot \left(\frac{t_{ij}}{\lambda_i} \right)^{\beta_i - 1} \quad (4.29)$$

sendo λ_i o parâmetro *alfa*, β_i o parâmetro *beta* e t_{ij} idade efetiva do componente depois da manutenção.

A tarefa seguinte, Calcular o custo da consequência do componente falhar, diz respeito às despesas econômicas oriundas das consequências de falha nos componentes dos ativos. Portanto, para calcular essa informação a fórmula 4.22 é executada produzindo como saída o artefato, Custo da consequência do componente falhar.

A última tarefa deste subprocesso, Calcular o custo da dimensão Risco depois da manutenção, está relacionada a multiplicação da probabilidade de falha iminente depois da manutenção pelo custo da consequência de falha. Dessa maneira, para calcular essa infor-

mação a fórmula 4.29 é executada produzindo como saída o artefato, Custo da dimensão Risco depois da manutenção.

$$RDC_{AM} = h(t_{ij}) \cdot C_{conseq} \quad (4.30)$$

sendo o termo $h(t_{ij})$ a probabilidade do componente falhar depois da manutenção e C_{conseq} custo da consequência do componente falhar.

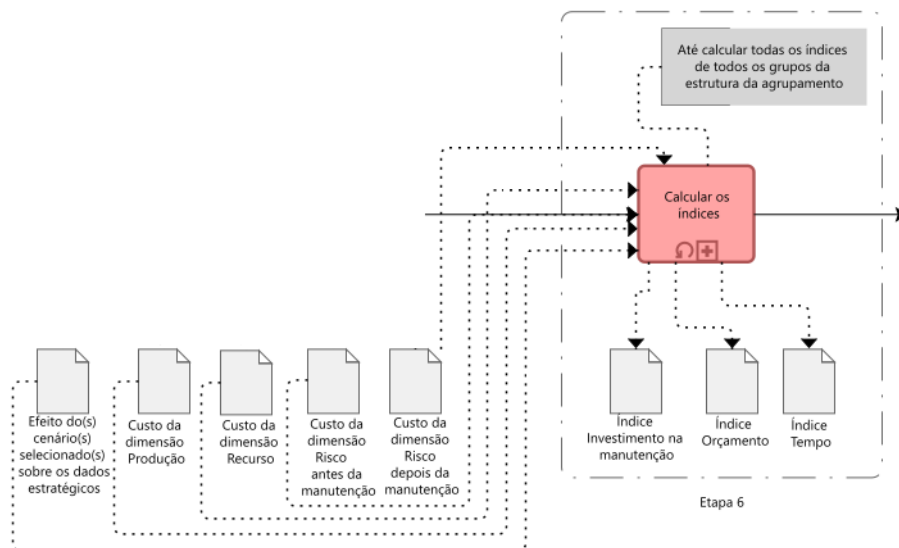
Vale salientar que todas as tarefas deste subprocesso devem ser repetidas até calcular todas as dimensões de decisão de todos os grupos da estrutura da agrupamento.

Outra observação relevante está no fato de que todos os cálculos realizados nesta etapa foram baseados no *framework* SMPF de Swart (2015).

Etapa 6 - Calcular os índices

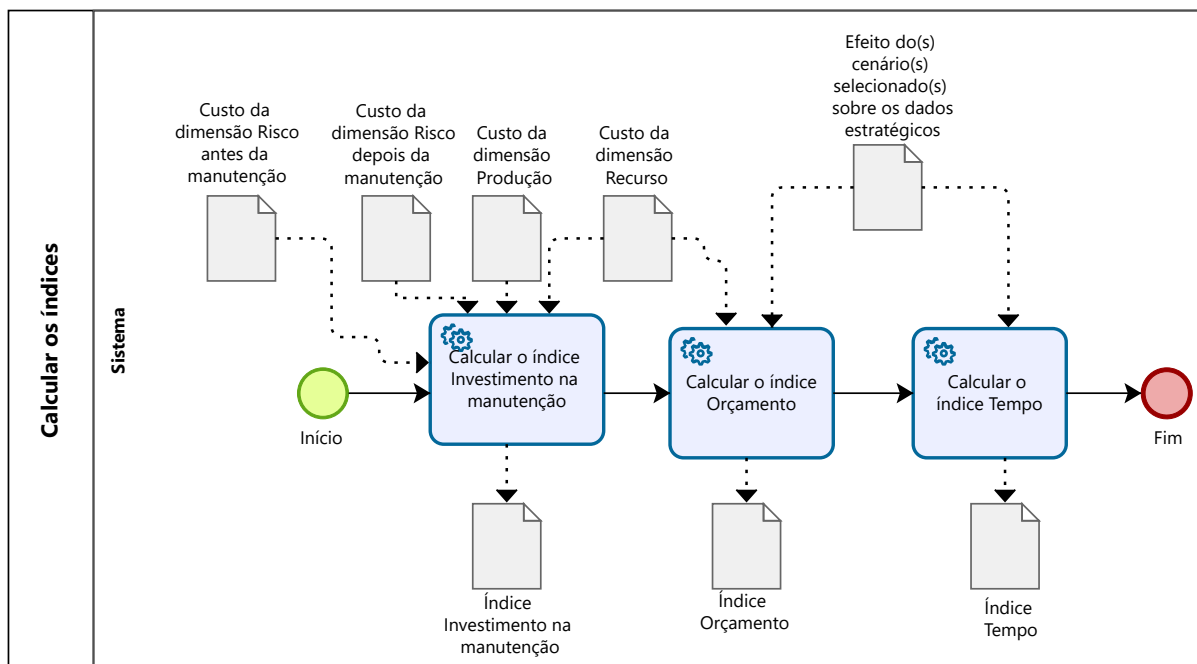
A Figura 45 apresenta o subprocesso da Etapa 6, que corresponde ao cálculo dos índices que vão compor os critérios da priorização. Este, quando expandido, possui três tarefas das quais, todas são obrigatórias, de planejamento da priorização e realizadas automaticamente pelo sistema, como pode ser visto na Figura 46.

Figura 45 – Etapa 6 do processo SMIPP



Fonte: A autora

Figura 46 – Etapa 6: Calcular os índices



Fonte: A autora

Nesta etapa tem início o subprocesso, Calcular os índices, que corresponde ao cálculo dos três índices utilizados na priorização, são eles, investimento na manutenção, orçamento e tempo. A primeira tarefa, Calcular o Índice Investimento na manutenção, diz respeito a diferença da dimensão Risco antes e depois da manutenção, o somatório entre o Custo da dimensão Produção e Custo da dimensão Recurso e a divisão entre o resultado da diferença pelo somatório. Assim, para calcular essa informação a fórmula 4.31 é executada recebendo como artefato de entrada, Custo da dimensão Risco antes e depois da manutenção, Custo da dimensão Produção e Custo da dimensão Recurso. E, produz como artefato de saída, Índice Investimento na manutenção.

$$MII = \frac{RDC_{BM} - RDC_{AM}}{ODC + ReDC} \quad (4.31)$$

sendo RDC_{BM} e RDC_{AM} dimensão Risco antes e depois da manutenção, ODC custo da dimensão Produção e $ReDC$ custo da dimensão Recurso.

A segunda tarefa, Calcular índice Orçamento, está relacionada a divisão do Custo da dimensão Recurso pelos diferença entre o orçamento planejado para a manutenção e orçamento extra planejado para a manutenção. Portanto, para calcular essa informação a fórmula 4.32 é executada recebendo como artefatos de entrada, Custo da dimensão Recurso e Efeito do(s) cenário(s) selecionado(s) sobre os dados estratégicos. E, produz como saída o artefato, Índice Orçamento.

$$BI = \frac{ReDC}{SB - BF} \quad (4.32)$$

sendo ReDC o custo da dimensão Recurso, SB orçamento planejado para a manutenção e BF orçamento extra planejado para a manutenção.

Em seguida o subprocesso, Calcular índice Tempo, é executado. A Figura 46 exibe o detalhamento do Passo 6 em relação ao cálculo do Índice Tempo.

A terceira e última tarefa, Calcular índice Tempo, é executada. Ela corresponde a divisão do DT o tempo de inatividade pela diferença entre o tempo planejado para a manutenção e tempo extra planejado para a manutenção. Dessa forma, para calcular essa informação a fórmula 4.33 é executada recebendo como artefato de entrada, Efeito do(s) cenário(s) selecionado(s) sobre os dados estratégicos. E, produz como saída o artefato, Índice Tempo.

$$TI = \frac{DT}{AST - TF} \quad (4.33)$$

sendo DT o tempo de inatividade, AST tempo planejado para a manutenção e TF tempo extra planejado para a manutenção.

Vale salientar que todas as tarefas deste subprocesso devem ser repetidas até calcular todos os índices de todos os grupos da estrutura da agrupamento.

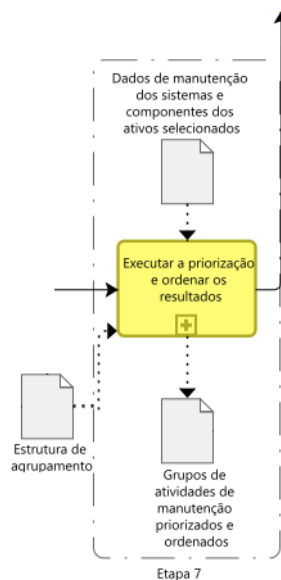
Outra observação relevante está no fato de que, assim como na etapa anterior, todos os cálculos realizados nesta etapa também foram baseados no *framework* SMPF de Swart (2015).

Etapla 7 - Executar a priorização e ordenar os resultados

A Figura 47 apresenta o subprocesso da Etapla 7, que corresponde à execução da priorização e ordenação dos resultados obtidos. Este, quando expandido, possui três subprocessos e duas tarefas da quais, todas são obrigatórias, de execução da priorização e realizadas automaticamente pelo sistema, como pode ser visto na Figura 48.

A primeira tarefa, Criar matriz de critérios, corresponde a confecção da matriz de critérios da priorização. Os elementos dessa matriz vão ser os índices da etapa anterior, ou seja, Índice de Investimento da manutenção, Orçamento e Tempo. Esta tarefa recebe como artefato de entrada, Dados de manutenção dos sistemas e componentes dos ativos selecionados e, gera como artefato de saída, Matriz criada.

Figura 47 – Etapa 7 do processo SMIPP



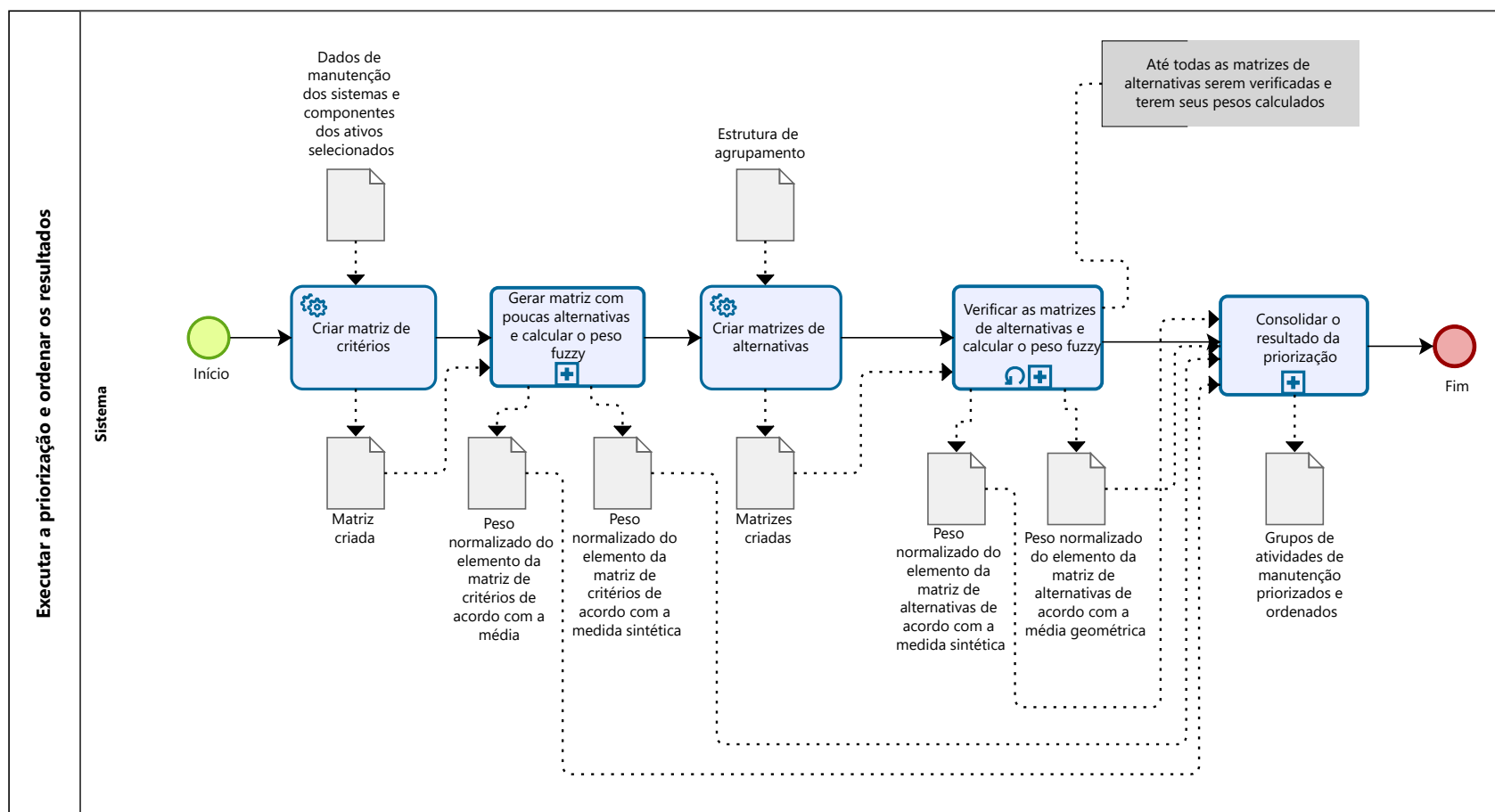
Fonte: A autora

Em seguida o subprocesso, Gerar matriz com poucas alternativas e calcular o peso *fuzzy*, é iniciado. Este subprocesso é composto por três subprocessos e quatro tarefas, são elas:

- Comparar as alternativas em pares;
- Converter os termos linguísticos da matriz em números da escala Saaty;
- Calcular os valores normalizados da matriz;
- Calcular os vetores de prioridade da matriz;
- Verificar se a matriz é consistente;
- Calcular o peso *fuzzy* de acordo com a média geométrica;
- Calcular o peso *fuzzy* de acordo com a medida sintética.

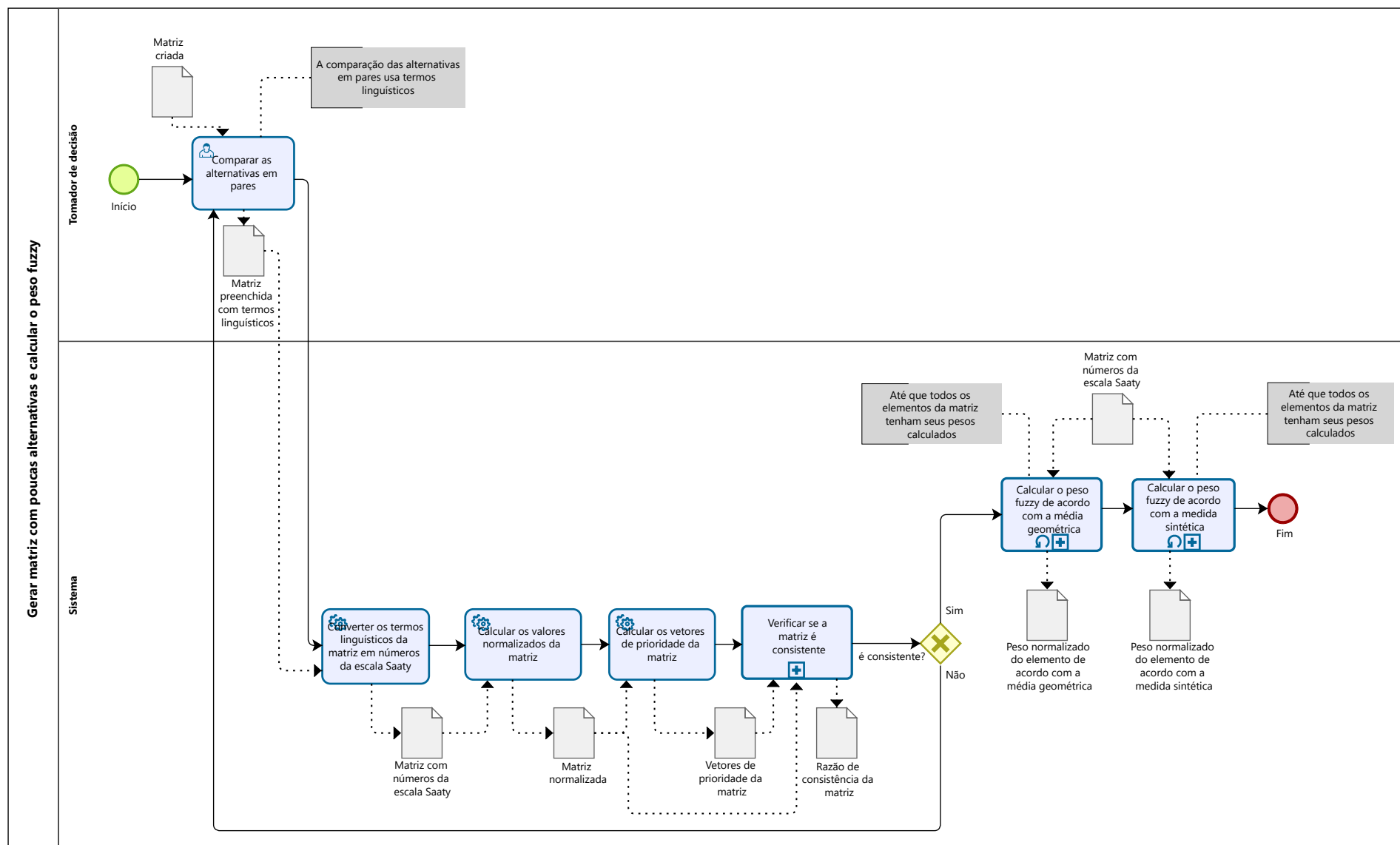
A Figura 49 exhibe o detalhamento deste subprocesso.

Figura 48 – Etapa 7: Executar a priorização e ordenar os resultados



Fonte: A autora

Figura 49 – Etapa 7: Gerar matriz com poucas alternativas e calcular o peso fuzzy



A primeira tarefa, Comparar as alternativas em pares, diz respeito ao preenchimento da matriz com termos linguísticos através da comparação em pares dos elementos da matriz. A utilização de termos linguísticos ocorre pelo fato da priorização utilizar o MCDM FAHP. Não existe um consenso na literatura de quais variáveis ou termos linguísticos devem ser utilizados na priorização com FAHP por isso, este trabalho optou por usar os termos linguísticos que são exibidos na Tabela 41 pelo fato deles serem de simples compreensão para o tomador de decisão e por terem sido aplicados em diversas pesquisas como por exemplo Afolayan, Ojokoh e Adetunmbi (2020), Ishizaka e Nguyen (2013), (AYHAN, 2013) e Stefano (2016).

Tabela 41 – Termos linguísticos utilizados na priorização

Termos linguísticos
Importância Igual
Importância Baixa
Importância Moderada
Importância Forte
Importância Absoluta

Fonte: (AFOLAYAN; OJOKOH; ADETUNMBI, 2020), (ISHIZAKA; NGUYEN, 2013), (AYHAN, 2013) e (STEFANO, 2016)

Esta tarefa recebe como entrada o artefato, Matriz criada e, produz como saída, Matriz preenchida com termos linguísticos. Ela é a única tarefa, deste subprocesso, que é executada manualmente pelo tomador de decisão, todas as outras tarefas são realizadas automaticamente pelo sistema.

Na sequência a tarefa, Converter os termos linguísticos da matriz em números da escala Saaty, está relacionada com a tradução das variáveis linguísticas em valores numéricos da escala Saaty (SAATY, 1990). É preciso realizar essa conversão para facilitar os cálculos que serão realizados nas próximas tarefas. A Tabela 42 apresenta o mapeamento realizado entre os termos linguísticos e a escala Saaty.

Tabela 42 – Termos linguísticos x Escala Saaty

Termos linguísticos	Escala Saaty
Importância Igual	1
Importância Baixa	3
Importância Moderada	5
Importância Forte	7

Importância Absoluta	9
1/(Importância Baixa)	3
1/(Importância Moderada)	5
1/(Importância Forte)	7
1/(Importância Absoluta)	9

Fonte: (AFOLAYAN; OJOKOH; ADETUNMBI, 2020), (ISHIZAKA; NGUYEN, 2013), (AYHAN, 2013) e (STEFANO, 2016)

Esta tarefa recebe como entrada o artefato, Matriz preenchida com termos linguísticos e, produz como saída, Matriz com números da escala Saaty.

Mais adiante a tarefa, Calcular os valores normalizados da matriz, é processada. Esta tarefa refere-se ao somatório dos valores atribuídos aos elementos da matriz seguido da divisão do valor de cada elemento pelo somatório calculado anteriormente. Portanto, para calcular essa informação a fórmula 4.34 é executada recebendo como artefato de entrada, Matriz com números da escala Saaty e, produzindo como saída o artefato, Matriz normalizada.

$$N_i = \frac{M_i}{\sum_{i=1}^n M_i} \quad (4.34)$$

sendo M_i o valor atribuído a cada elemento e o termo $\sum_{i=1}^n M_i$ o somatório dos valores atribuídos aos elementos da matriz.

Em seguida a tarefa, Calcular os vetores de prioridade da matriz, é realizada. Esta tarefa corresponde ao cálculo da média aritmética dos valores normalizados da matriz. Ela recebe como entrada o artefato, Matriz normalizada e, produz como saída, Vetores de prioridade da matriz.

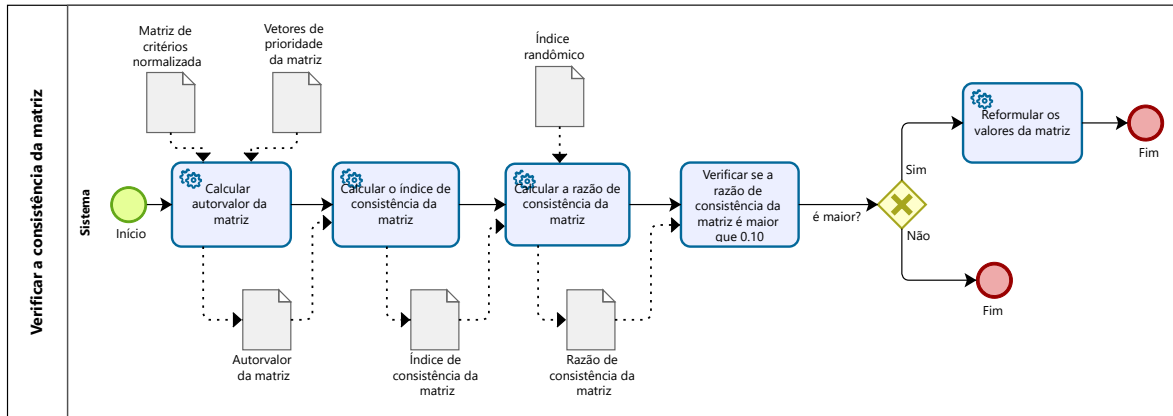
Posteriormente se inicia o subprocesso, Verificar a consistência da matriz. Para facilitar a compreensão deste subprocesso a Figura 50 exibe o detalhamento do mesmo.

Este subprocesso começa com a tarefa, Calcular autorvalor da matriz. Esta é dividida em duas partes, primeiramente soma-se o resultado da multiplicação do vetor de prioridade de cada elemento da matriz com o valor do elemento sem normalização e dividi-se pelo valor de cada elemento normalizado. Assim, para calcular essa informação a fórmula 4.35 é utilizada.

$$Ax = \lambda_{max}X \quad (4.35)$$

sendo A a matriz de prioridade, x vetor de prioridade, λ_{max} o autovalor máximo e X o elemento da matriz.

Figura 50 – Etapa 7: Verificar a consistência da matriz



Fonte: A autora

Por conseguinte, dividi-se o somatório dos valores calculados anteriormente pela quantidade de elementos na matriz. Desta maneira, para calcular essa informação a fórmula 4.36 é utilizada.

$$\lambda_{max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|A\bar{w}| i}{\bar{w}i} \quad (4.36)$$

sendo n o elemento da matriz, $|A\bar{w}| i$ soma dos vetores de prioridade, $\bar{w}i$ peso dos elementos da matriz e i quantidade de elementos da matriz.

Esta tarefa recebe como entrada os artefatos, Matriz de critérios normalizada e Vetores de prioridade da matriz e, produz como saída, Autorvalor da matriz.

Na sequência a tarefa, Calcular a índice de consistência da matriz, é realizada. Esta tarefa está relacionada com a divisão da diferença entre o autorvalor máximo pela quantidade de elementos na matriz sobre quantidade de elementos na matriz menos um. Assim, para calcular essa informação a fórmula 4.37 é executada recebendo como artefato de entrada, Autorvalor da matriz e, produzindo como saída o artefato, Índice de consistência da matriz.

$$IC = \frac{\lambda_{max} - n}{(n - 1)} \quad (4.37)$$

sendo λ_{max} o autovalor máximo e n o número de alternativas.

A próxima tarefa, Calcular a razão de consistência da matriz, diz respeito a divisão entre o índice de consistência sobre o índice randômico. Este último é obtido através de uma tabela padrão para o cálculo de índice randômico estabelecida por Saaty (1990), como pode ser visualizado por meio da Tabela 43.

Tabela 43 – Tabela padrão do índice randômico

Qtd. elementos	Índice randômico
1	0.00
2	0.00
3	0.58
4	0.90
5	1.12
6	1.24
7	1.32
8	1.41
9	1.45
10	1.49
11	1.51
12	1.48
13	1.56
14	1.57
15	1.59

Fonte: (SAATY, 1990)

Assim, para calcular a razão de consistência a fórmula 4.38 é utilizada recebendo como entrada os artefatos, Índice de consistência da matriz e Índice randômico e, produzindo como saída, Razão de consistência da matriz.

$$RC = \frac{IC}{IR} \quad (4.38)$$

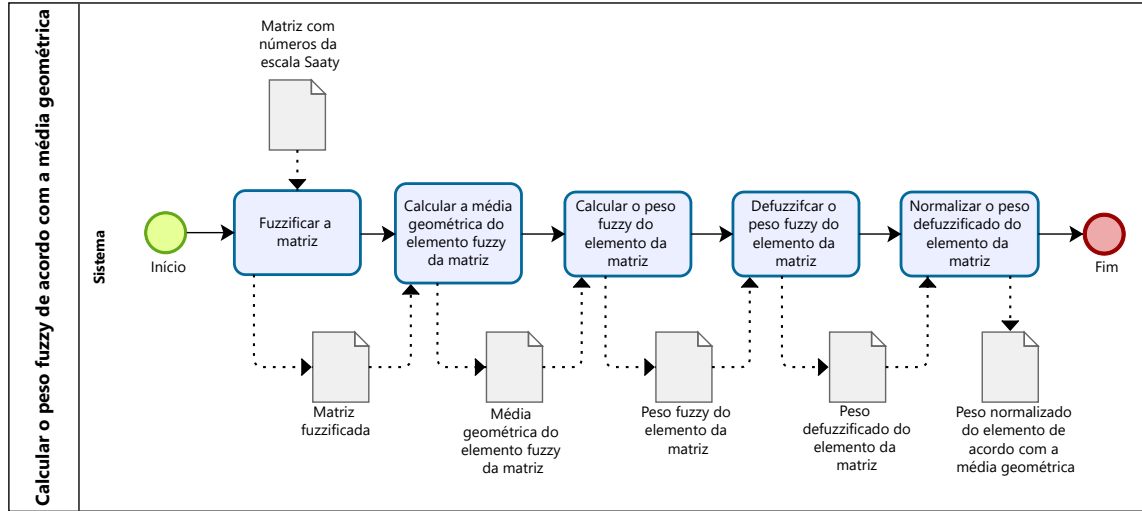
sendo IC e IR índice de consistência e randômico, respectivamente.

Mais adiante ocorre a tarefa, Verificar se a razão de consistência da matriz é maior que 0.10. Esta tarefa corresponde a verificação do valor da razão de consistência. Caso este seja maior que 0.10 é preciso reformular os valores da matriz através de uma nova comparação em pares dos elementos da matriz pois, a mesma encontra-se em estado de inconsistência. Por outro lado, caso a razão de consistência seja menor que 0.10 então, o subprocesso finaliza.

Continuando o subprocesso, Gerar matriz com poucas alternativas e calcular o peso *fuzzy*, os subprocessos seguintes, Calcular o peso *fuzzy* de acordo com a média geométrica e Calcular o peso *fuzzy* de acordo com a medida sintética, dizem respeito ao cálculo do

peso *fuzzy* dos elementos da matriz através dos algoritmos de Buckley (1985) e Chang (1996), respectivamente. A Figura 51 exibe o detalhamento desse subprocesso.

Figura 51 – Etapa 7: Calcular o peso *fuzzy* de acordo com a média geométrica



Fonte: A autora

A primeira tarefa, Fuzzificar a matriz, é executada. Esta tarefa consiste em transformar os valores dos elementos da matriz que estão em números da escala *Saaty* para números *fuzzy* de acordo com a escala apresentada na Tabela 39. Além disso, ela recebe como entrada o artefato, Matriz com números da escala Saaty e, gera como artefato de saída, Matriz fuzzificada.

A tarefa seguinte, Calcular a média geométrica do elemento *fuzzy* da matriz, corresponde a cada linha da matriz multiplicar os números *fuzzy* inferiores de todas as colunas e elevar a $\frac{1}{\text{númerodecritérios}}$. Repetir esse cálculo para todos os números *fuzzy* médios e superiores de cada linha da matriz. Portanto, para calcular essa informação a fórmula 4.39 é executada recebendo como artefato de entrada, Matriz fuzzificada e, produzindo como saída o artefato, Média geométrica do elemento *fuzzy* da matriz.

$$\tilde{r}_i = \left(\prod_{j=1}^n \tilde{d}_{ij} \right)^{\frac{1}{n}} \quad (4.39)$$

sendo n o número de critérios e o termo $\left(\prod_{j=1}^n \tilde{d}_{ij} \right)$ o somatório do resultado da multiplicação dos números *fuzzy* inferiores, médios e superiores de cada linha da matriz.

Mais adiante a tarefa, Calcular o peso *fuzzy* do elemento da matriz, diz respeito ao somatório dos números inferiores da média geométrica *fuzzy* dos elementos da matriz. Repetir esse passo para os números *fuzzy* médios e superiores. Posteriormente elevar a -1 o número *fuzzy* inferior, médio e superior obtido anteriormente. Por último, multiplicar os números *fuzzy* de cada elemento da matriz pelo número *fuzzy* calculado anteriormente

e, repetir esse passo para cada linha da matriz. Assim, para calcular essa informação a fórmula 4.40 é executada recebendo como artefato de entrada, Média geométrica do elemento *fuzzy* da matriz e, produzindo como saída o artefato, Peso *fuzzy* do elemento da matriz.

$$\tilde{w}_i = \tilde{r}_i \cdot (\tilde{r}_1 \cdot \tilde{r}_2 \dots \tilde{r}_n)^{-1} \quad (4.40)$$

sendo n o número de critérios e $\tilde{r}_i$ somatório dos números inferiores, médios e superiores da média geométrica *fuzzy* de cada linha da matriz.

Na sequência a tarefa, Defuzzificar o peso *fuzzy* do elemento da matriz, é executada. Esta tarefa está relacionada ao somatório dos pesos *fuzzy* inferior, médio e superior e, em seguida dividir o somatório por 3, que corresponde a quantidade de números *fuzzy* da função de pertinência triangular. Repetir esse cálculo para cada linha da matriz. Dessa forma, para calcular essa informação a fórmula 4.41 é executada recebendo como artefato de entrada, Peso *fuzzy* do elemento da matriz e, produzindo como saída o artefato, Peso defuzzificado do elemento da matriz.

$$M_i = \frac{lw_i + mw_i + uw_i}{3} \quad (4.41)$$

sendo lw_i , mw_i e uw_i os pesos *fuzzy* inferior, médio e superior, respectivamente.

Por fim a última tarefa deste subprocesso, Normalizar o peso defuzzificado do elemento da matriz, é realizada. Esta tarefa refere-se a divisão de cada peso defuzzificados dos elementos da matriz pelo somatório de todos os pesos defuzzificados. Dessa forma, para calcular essa informação a fórmula 4.42 é executada recebendo como artefato de entrada, Peso defuzzificado do elemento da matriz e, produzindo como saída o artefato, Peso normalizado do elemento de acordo com a média geométrica.

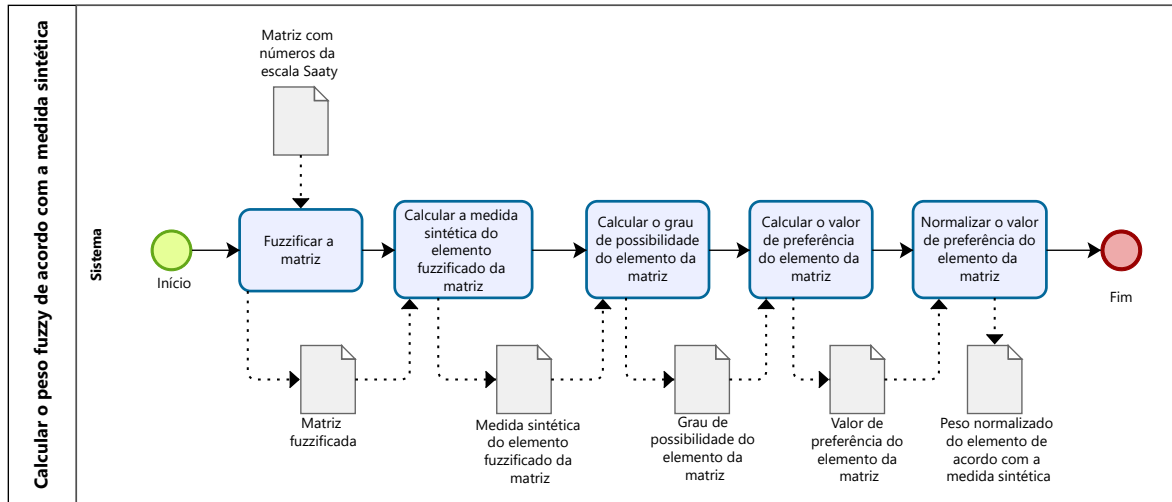
$$N_i = \frac{M_i}{\sum_{i=1}^n M_i} \quad (4.42)$$

sendo M_i o peso defuzzificados dos elementos da matriz e o termo $\sum_{i=1}^n M_i$ somatório de todos os pesos defuzzificados.

Importante destacar que todas as tarefas deste subprocesso devem ser repetidas até que todos os elementos da matriz tenham seus pesos calculados.

Retornando ao subprocesso, Gerar matriz com poucas alternativas e calcular o peso *fuzzy*, o próximo e último subprocesso é, Calcular o peso *fuzzy* de acordo com a medida sintética. Como tido anteriormente, ele corresponde ao cálculo do peso *fuzzy* dos elementos da matriz através do algoritmo de Chang (1996). A Figura 52 exhibe o detalhamento desse subprocesso.

Figura 52 – Etapa 7: Calcular o peso *fuzzy* de acordo com a medida sintética



Fonte: A autora

A primeira tarefa do subprocesso, Calcular o peso *fuzzy* de acordo com a medida sintética, é realizada. A primeira tarefa, Fuzzificar a matriz, possui o mesmo objetivo e ocorre da mesma forma que no subprocesso, Calcular o peso *fuzzy* de acordo com a média geométrica, inclusive, os artefatos de entrada e saída são os mesmos.

Já a tarefa seguinte, Calcular a medida sintética do elemento fuzzificado da matriz, corresponde ao somatório dos números *fuzzy* inferiores de todas as colunas da matriz de uma mesma linha. Repetir esse cálculo para os números *fuzzy* médios e superiores de todas as colunas. Posteriormente, somar os números *fuzzy* inferiores, médios e superiores do resultado obtido anteriormente. Em seguida, elevar a -1 o número *fuzzy* inferior, médio e superior obtido anteriormente. Por último, multiplicar o primeiro resultado obtido (soma dos números *fuzzy* inferiores, médios e superiores de todas as colunas da matriz) com o último resultado (elevado a -1).

Dessa forma, para calcular essa informação a fórmula 4.43 é executada recebendo como artefato de entrada, Matriz fuzzificada e, produzindo como saída o artefato, Medida sintética do elemento fuzzificado da matriz.

$$S_i = \sum_{j=1}^n \tilde{a}_{ij} \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \tilde{a}_{ij} \right]^{-1} \quad (4.43)$$

sendo o termo $\sum_{j=1}^n \tilde{a}_{ij}$ o somatório dos números *fuzzy* inferiores, médios e superiores de todas as colunas da matriz de uma mesma linha e o termo $\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \tilde{a}_{ij} \right]^{-1}$ o somatório dos números *fuzzy* inferiores, médios e superiores do resultado obtido do termo anterior.

Mais adiante a tarefa, Calcular o grau de possibilidade do elemento da matriz, é realizada. Esta tarefa diz respeito, primeiramente, a comparar o valor da medida sintética da primeira linha com todas as outras linhas. Repetir essa comparação para todas as

linhas. A quantidade de comparações vai depender da quantidade de linhas. O resultado da comparação vai ser analisado de acordo com a equação do grau de possibilidade, ou seja, primeiro compara se o valor médio da medida sintética *fuzzy* da primeira linha é maior ou igual ao com valor médio da medida sintética *fuzzy* da segunda linha. Se o resultado for 1 então, a comparação finaliza senão, compara o valor inferior da medida sintética *fuzzy* da segunda linha é maior ou igual ao com valor superior da medida sintética *fuzzy* da primeira linha. Se o resultado for 0 então, a comparação finaliza senão, subtrai o valor inferior da medida sintética *fuzzy* da segunda linha com o valor superior da medida sintética *fuzzy* da primeira linha. Depois, subtrai o valor médio com o valor superior da medida sintética *fuzzy* da primeira linha, repete esse passo com a segunda linha e depois subtrai o resultado obtido da primeira com a segunda linha. Posteriormente, Divide o resultado da primeira subtração com o resultado obtido da última subtração.

Assim, para calcular essa informação a fórmula 4.44 é executada recebendo como artefato de entrada, Medida sintética do elemento fuzzificado da matriz e, produzindo como saída o artefato, Grau de possibilidade do elemento da matriz.

$$V(M_2 \geq M_1) = \begin{cases} 1, se m_2 \geq m_1 \\ 0, se l_1 \geq u_2 \\ \frac{l_1 - u_2}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)}, de outra forma \end{cases} \quad (4.44)$$

sendo l_1 e l_2 primeiro e segundo números *fuzzy* inferiores, M_1 e M_2 primeiro e segundo números *fuzzy* médios e u_1 e u_2 primeiro e segundo números *fuzzy* superiores.

Na sequência a tarefa, Calcular o valor de preferência do elemento da matriz, é realizada. Esta tarefa refere-se a obtenção do menor grau de possibilidade dentre os valores gerados anteriormente. Portanto, para calcular essa informação a fórmula 4.45 é executada recebendo como artefato de entrada, Grau de possibilidade do elemento da matriz e, produzindo como saída o artefato, Valor de preferência do elemento da matriz.

$$V(\tilde{S} \geq \tilde{S}_1, \tilde{S}_2, \dots, \tilde{S}_n) = MINV(\tilde{S} \geq \tilde{S}_i), sendo i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (4.45)$$

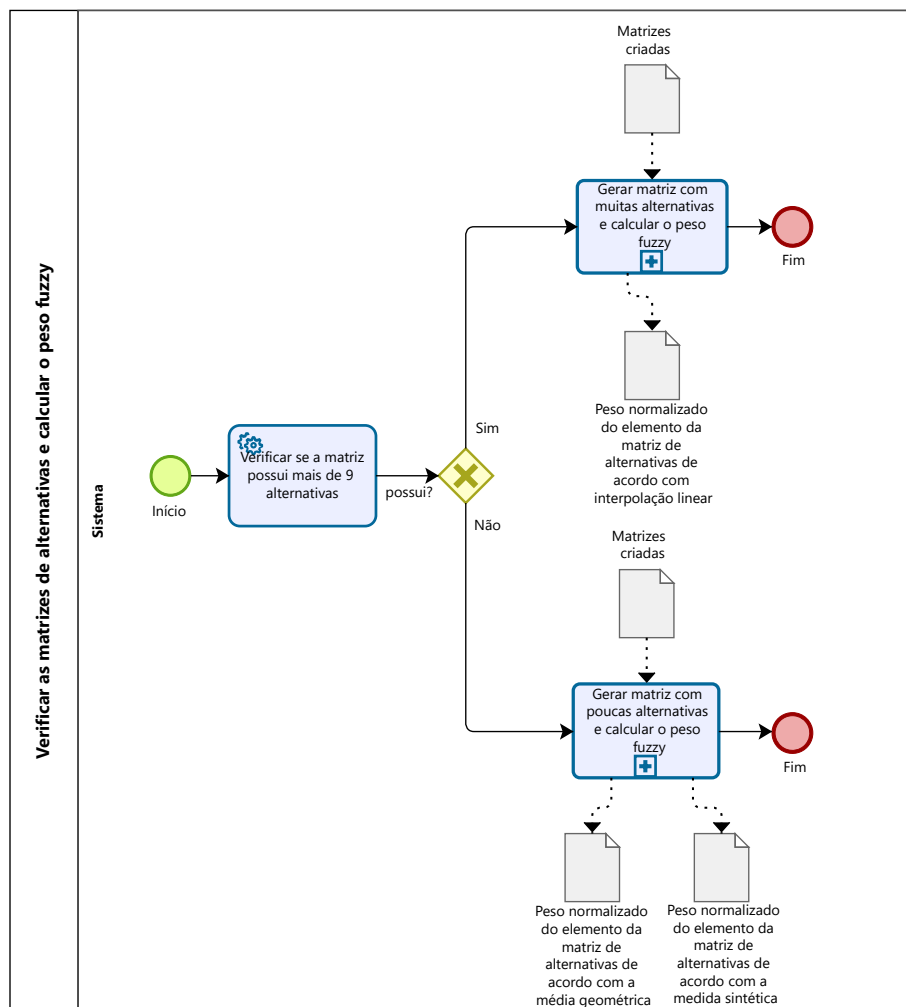
sendo n quantidade de elementos da matriz e $\tilde{S}_n$ medida sintética do elemento fuzzificado da matriz.

Por fim a última tarefa, Normalizar o valor de preferência do elemento da matriz, é realizada. Esta tarefa está relacionada ao somatório dos valores do menor grau de possibilidade e em seguida, divisão do valor da soma obtida anteriormente com o valor de cada grau de possibilidade. Assim, para calcular essa informação a fórmula 4.42 é executada recebendo como artefato de entrada, Valor de preferência do elemento da matriz e, produzindo como saída o artefato, Peso normalizado do elemento de acordo com a medida sintética.

Voltando ao subprocesso, Executar a priorização e ordenar os resultado, a tarefa, Criar matrizes de alternativas, é executada. Os elementos dessa matriz vão ser os grupos de atividades de manutenção. Esta tarefa recebe como artefato de entrada, Estrutura de agrupamento e, gera como artefato de saída, Matrizes criadas.

Mais adiante o subprocesso, Verificar as matrizes de alternativas e calcular o peso *fuzzy*, é iniciado. A Figura 53 exibe o detalhamento desse subprocesso.

Figura 53 – Etapa 7: Verificar as matrizes de alternativas e calcular o peso fuzzy



Fonte: A autora

A primeira tarefa, Verificar se a matriz possui mais de 9 alternativas, analisa a quantidade de elementos a matriz tem. Caso não possua mais de nove alternativas então, o fluxo segue para a execução do subprocesso, Gerar matriz com poucas alternativas e calcular o peso *fuzzy*, explicado anteriormente. Caso a matriz possua mais de nove alternativas então, o fluxo vai ser direcionado para o subprocesso, Gerar matriz com muitas alternativas e calcular o peso *fuzzy*. Vale salientar que esse subprocesso deve ser repetido até todas as matrizes de alternativas serem verificadas e terem seus pesos calculados.

Assim, considerando o caso da matriz possuir mais de nove alternativas então, o sub-processo, Gerar matriz com muitas alternativas e calcular o peso *fuzzy*, é iniciado. Este subprocesso é composto por três subprocessos e oito tarefas, são elas:

- Estimar peso da alternativa;
- Selecionar subconjunto de alternativas;
- Comparar as alternativas em pares;
- Converter os termos linguísticos da matriz em números da escala Saaty;
- Calcular os valores normalizados da matriz;
- Calcular os vetores de prioridade da matriz;
- Verificar se a matriz é consistente;
- Calcular o peso *fuzzy* do subconjunto de alternativas de acordo com a média geométrica;
- Calcular o peso *fuzzy* do subconjunto de alternativas de acordo com a medida sintética;
- Calcular peso das alternativas restantes de acordo com interpolação linear;
- Normalizar o peso do elemento da matriz de acordo com interpolação linear.

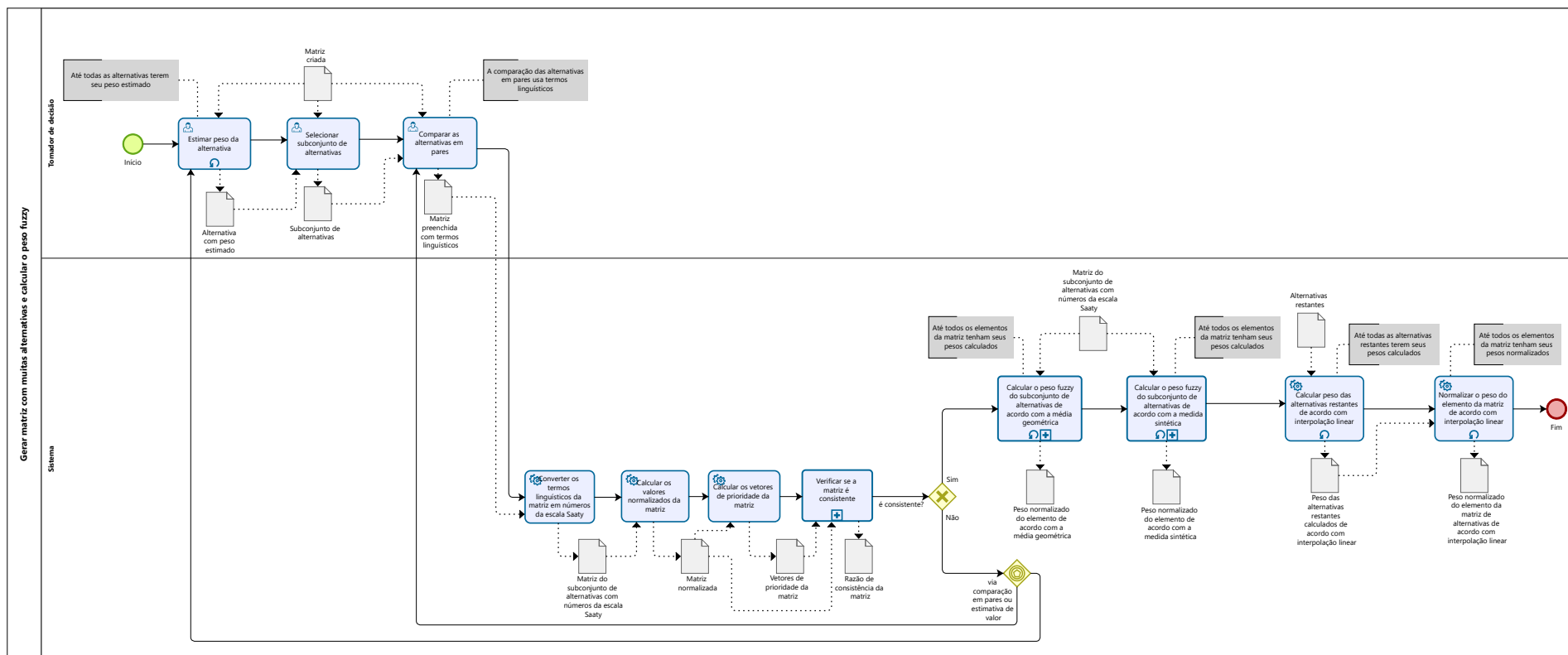
Importante ressaltar que apenas as três primeiras tarefas deste subprocesso são executadas manualmente pelo tomador de decisão, todas as outras são automáticas pelo sistema. A Figura 54 exhibe o detalhamento deste subprocesso.

A primeira tarefa, Estimar peso da alternativa, é realizada. Esta tarefa corresponde à atribuição de um valor numérico, em uma escala de zero a cem, para cada alternativa de acordo com os critérios da priorização. Vale salientar que essa tarefa deve ser repetida até todas as alternativas terem seu peso estimado. Ela recebe como artefato de entrada, Matriz criada e, gera como artefato de saída, Alternativa com peso estimado.

Na sequência, a tarefa, Selecionar subconjunto de alternativas, começa. Esta tarefa está relacionada a escolha de um pequeno grupo de alternativas, de acordo com os critérios da priorização e com o peso estimado na tarefa anterior. Ela recebe como artefato de entrada, Matriz criada e, gera como artefato de saída, Subconjunto de alternativas.

Mais adiante, a tarefa, Comparar as alternativas em pares, é executada. Esta tarefa diz respeito à comparação das alternativas, duas a duas, de acordo com os critérios da priorização e, fazer um julgamento de uma em relação a outra. Importante destacar que a comparação das alternativas em pares usa termos linguísticos. Esta tarefa recebe como artefato de entrada, Matriz criada e, gera como artefato de saída, Matriz preenchida com termos linguísticos.

Figura 54 – Etapa 7: Gerar matriz com muitas alternativas e calcular o peso fuzzy



Fonte: A autora

Seguindo, as tarefas, Converter os termos linguísticos da matriz em números da escala Saaty, Calcular os valores normalizados da matriz e Calcular os vetores de prioridade da matriz e o subprocesso, Verificar se a matriz é consistente, já foram explicados anteriormente no subprocesso, Gerar matriz com poucas alternativas e calcular o peso *fuzzy*. Todas essas tarefas e subprocesso são realizados com o subconjunto de alternativas selecionado. Vale salientar que caso a matriz não seja consistente é possível seguir por dois fluxos distintos, refazer a comparação em pares ou a estimativa de valor. E o subprocesso será executado novamente a partir do ponto escolhido.

Os subprocessos, Calcular o peso *fuzzy* do subconjunto de alternativas de acordo com a média geométrica e Calcular o peso *fuzzy* do subconjunto de alternativas de acordo com a medida sintética, que também já foram explicados anteriormente no subprocesso, Gerar matriz com poucas alternativas e calcular o peso *fuzzy*. Os dois subprocessos são realizados com o subconjunto de alternativas selecionado e, devem ser repetidos até todos os elementos da matriz tenham seus pesos calculados.

A próxima tarefa, Calcular peso das alternativas restantes de acordo com interpolação linear, corresponde a inferência do peso das alternativas restantes da matriz por meio do cálculo da interpolação linear. Esta tarefa deve ser repetida até todas as alternativas restantes terem seus pesos calculados. Portanto, para calcular essa informação a fórmula 4.46 é executada recebendo como artefato de entrada, Alternativas restantes e, produzindo como saída o artefato, Peso das alternativas restantes calculados de acordo com interpolação linear.

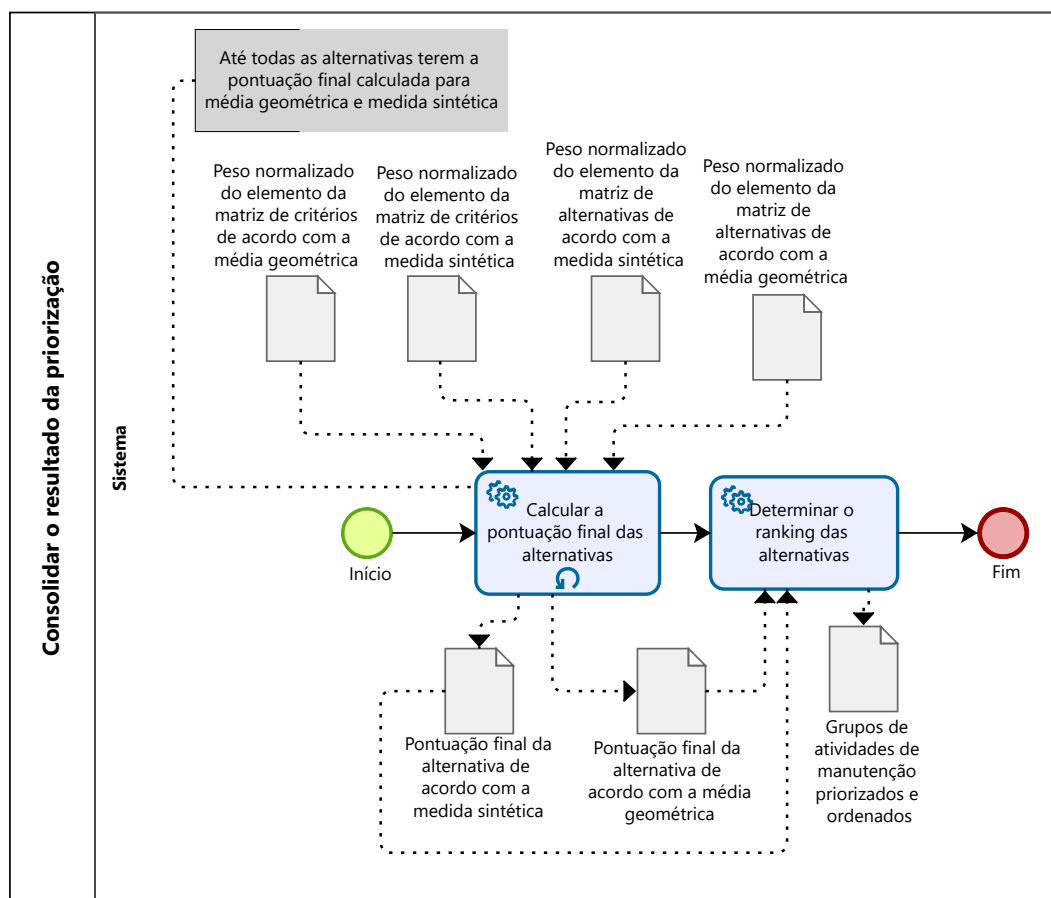
$$u(r_j(a)) = u(\gamma_{js}) + \frac{u(\gamma_{js+1}) - u(\gamma_{js})}{\gamma_{js+1} - \gamma_{js}}(r_j(a) - \gamma_{js}) \quad (4.46)$$

sendo $u(\gamma_{js})$ e $u(\gamma_{js+1})$ o peso normalizado da alternativa anterior e posterior, respectivamente, a alternativa que se deseja calcular e, γ_{js} e γ_{js+1} o valor estimado da alternativa anterior e posterior, respectivamente, a alternativa que se deseja calcular.

Por fim, a última tarefa deste subprocesso, Normalizar o peso do elemento da matriz de acordo com interpolação linear, é iniciada. Esta tarefa está relacionada ao somatório dos valores do peso das alternativas e em seguida, divisão do valor da soma obtida anteriormente com o valor de cada peso. Assim, para calcular essa informação a fórmula 4.42 é executada recebendo como artefato de entrada, Peso das alternativas restantes calculados de acordo com interpolação linear e, produzindo como saída o artefato, Peso normalizado do elemento da matriz de alternativas de acordo com interpolação linear. Vale salientar que esta tarefa deve ser repetida até todos os elementos da matriz tenham seus pesos normalizados.

Retornando ao subprocesso, Executar a priorização e ordenar os resultados, o último subprocesso, Consolidar o resultado final da priorização, é executado. A Figura 55 exibe o detalhamento desse subprocesso.

Figura 55 – Etapa 7: Consolidar o resultado da priorização



Fonte: A autora

A primeira tarefa, Calcular a pontuação final da priorização, diz respeito a multiplicação do peso normalizado de cada elemento da matriz de critérios com o peso normalizado de cada um dos elementos da matriz de alternativas. É necessário realizar esse cálculo duas vezes uma para o peso calculado com a média geométrica e outro com o peso calculado com a medida sintética. Inclusive, esta tarefa vai se repetir até todas as alternativas terem a pontuação final calculada para média geométrica e medida sintética.

Esta tarefa recebe como artefatos de entrada, Peso normalizado do elemento da matriz de critérios de acordo com a média geométrica, Peso normalizado do elemento da matriz de critérios de acordo com a medida sintética, Peso normalizado do elemento da matriz de alternativas de acordo com a medida sintética, Peso normalizado do elemento da matriz de alternativas de acordo com a média geométrica. E, gera como saída os artefatos, Pontuação final da alternativa de acordo com a medida sintética e Pontuação final da alternativa de acordo com a média geométrica.

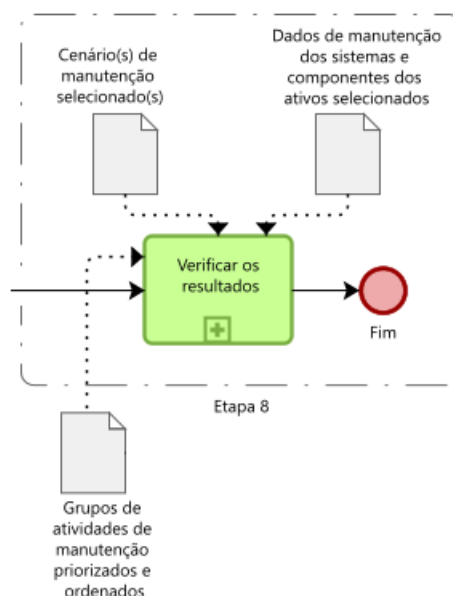
Posteriormente, a segunda e última deste subprocesso, Determinar o *ranking* das alternativas, é realizada. Essa tarefa corresponde ao somatório dos valores obtidos em cada alternativa e, a organização em ordem decrescente dos grupos de atividades de manutenção priorizados. Ela recebe como artefato de entrada, Pontuação final da alternativa

de acordo com a medida sintética e Pontuação final da alternativa de acordo com a média geométrica e, produz como saída o artefato, Grupos de atividades de manutenção priorizados e ordenados.

Etapa 8 - Verificar os resultados

A Figura 56 apresenta o subprocesso da Etapa 8, que corresponde verificação dos resultados obtidos. Este, quando expandido, possui três tarefas das quais, todas são opcionais, de execução da priorização e executadas manualmente pelo tomador de decisão, como pode ser visto na Figura 57.

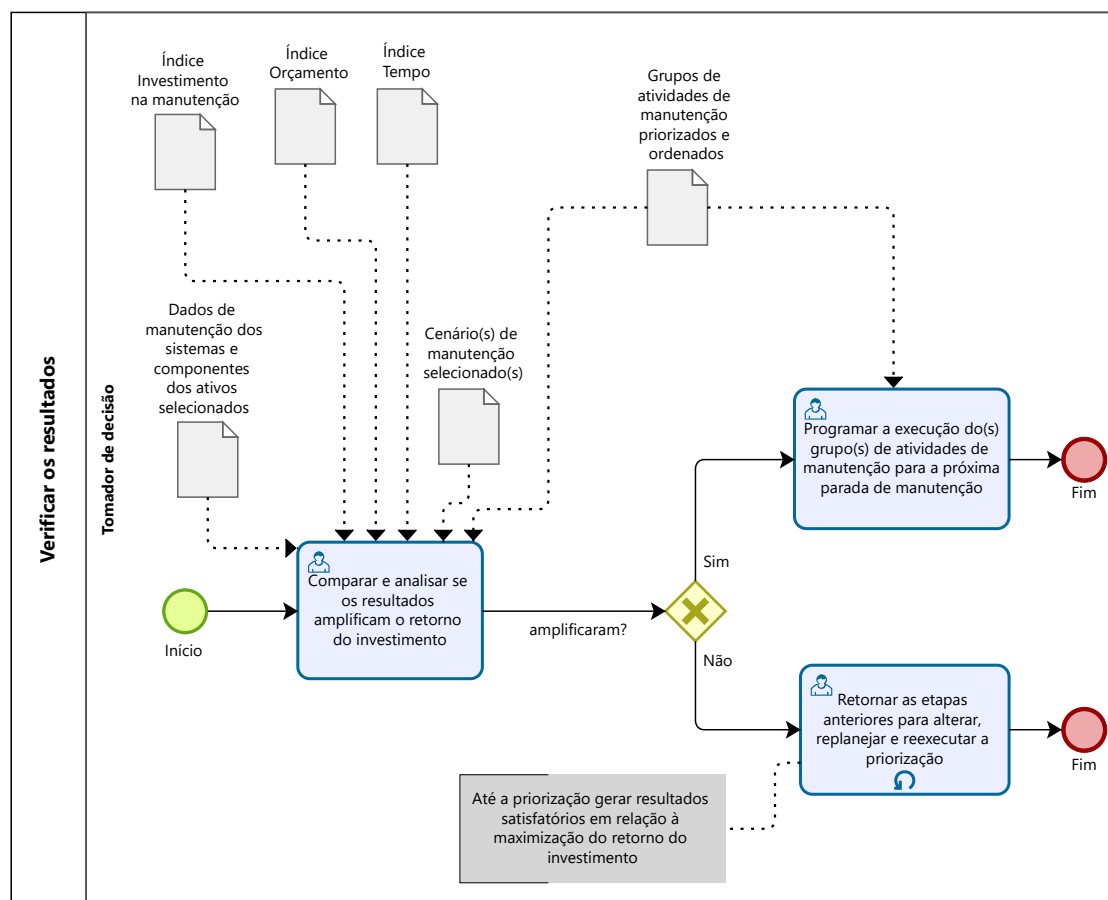
Figura 56 – Etapa 8 do processo SMIPP



Fonte: A autora

A primeira tarefa, Comparar e analisar se os resultados amplificam o retorno do investimento, corresponde a verificar se os resultados produzidos alcançam o objetivo desejado, ou seja, se conseguiram aumentar o retorno do investimento em paradas de manutenção com restrições de tempo e orçamento. Essa análise pode ser feita através da comparação, com dados históricos, do retorno do investimento obtido em paradas de manutenção anteriores.

Figura 57 – Etapa 8: Verificar os resultados



Fonte: A autora

Caso os resultados amplifiquem o retorno do investimento então, a tarefa, Programar a execução do(s) grupo(s) de atividades de manutenção para a próxima parada de manutenção, é realizada. Esta tarefa diz respeito a qual(is) grupo(s) de atividades de manutenção vão compor o horizonte de planejamento da próxima parada de manutenção. Ela recebe como artefatos de entrada, Grupos de atividades de manutenção priorizados e ordenados.

Caso os resultados não sejam satisfatórios então, a tarefa, Retornar as etapas anteriores para alterar, replanejar e reexecutar a priorização, é executada. Esta tarefa está relacionada a repriorização dos grupos de atividades de manutenção. Importante destacar que ela deve ser repetida até a priorização gerar resultados satisfatórios em relação à maximização do retorno do investimento. O gestor de ativos poderá retornar a partir de qualquer etapa para refazer o processo.

Finalmente, para facilitar a compreensão e fornecer maior suporte ao tomador de decisão no momento da utilização do processo SMIPP a autora deste trabalho optou por desenvolver uma ferramenta de apoio. Os detalhes da ferramenta encontram-se no Apêndice L de acordo com as telas e informações que são exibidas para o usuário no sistema.

4.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo alcançou os objetivos específicos ObjEsp2, ObjEsp3 e ObjEsp4 por meio da descrição, em detalhes, da estratégia e metodologia utilizadas para elaboração do processo proposto, chamado SMIPP, que tem como objetivo ajudar na identificação dos agrupamentos de atividades de manutenção, de sistemas multiativos homogêneos, que ampliam o retorno do investimento em paradas de manutenção com restrições de tempo e orçamento. O processo SMIPP é iterativo e incremental e aplica tecnologias de IA no planejamento e execução da priorização de grupos de atividades de manutenção. Além disso, este processo contempla oito etapas sendo, sete obrigatórias, um opcional, quatro manuais, quatro automáticas, seis sobre o planejamento e duas sobre a execução da priorização. Portanto, o processo SMIPP é composto por etapas que fornecem suporte ao gestor de ativos por meio do planejamento tático e da execução da priorização.

5 AVALIAÇÃO DO PROCESSO

Este capítulo apresenta o passo-a-passo para avaliação do processo SMIPP. Esta consistiu de três simulações e um *survey* com especialistas. Foram avaliados diferentes aspectos do processo proposto, tais como, a aplicabilidade do processo na prática e a aderência do mesmo aos dez princípios de um bom gerenciamento de processo de negócio. O conteúdo deste capítulo é estruturado nas seguintes seções e subseções: formas de avaliação, simulação computacional, base de dados, concepção das simulações, configurações, diretrizes para analisar os resultados, ferramenta utilizada, simulação I, simulação II, simulação III, resultados e análise, survey com especialistas, planejamento, desenvolvimento, resultados e análise.

5.1 FORMAS DE AVALIAÇÃO

Antes de iniciar a avaliação do processo SMIPP primeiramente fez-se necessário realizar uma pesquisa bibliográfica a fim de que a autora desta tese se apropriasse do conhecimento à respeito das metodologias de avaliação na área de gestão de ativos.

Após uma análise na literatura, verificou-se que não existe uma única forma de avaliar as contribuições que envolvem gestão de ativos. Na RSL apresentada no Capítulo 3, Respostas às Questões da Revisão Sistemática, foram identificados diferentes tipos de métodos empíricos para examinar as contribuições propostas pelos estudos. Assim, verificou-se que estudo de caso e experimento lideravam como as formas mais utilizadas com 46,34% (38 estudos) e 39,02% (32 estudos), respectivamente inclusive, para o tipo de contribuição processo. Houve apenas um estudo que utilizou pesquisa de opinião. E, por meio de *snowballing* também foram identificadas avaliações através de simulação ((TAM; PRICE, 2008a), (TAM; PRICE, 2008b), (VU, 2015), (NGUYEN, 2019)) e ((PETROVIĆ; MILOSAVLJEVIĆ; ŠAJIĆ, 2018)).

Ao se analisar a aplicação do processo proposto por meio de um estudo de caso com uma indústria do mundo real verificou-se que existiam algumas dificuldades, tais como, 1) a escassez de dados, 2) a desorganização e despadronização dos dados e, 3) a proteção, sigilo e confidencialidade dos dados. Esses fatores auxiliaram para que o SMIPP não fosse colocado em prática por meio de uma corporação.

Assim, a fim de melhor avaliar o processo SMIPP optou-se pela utilização de duas formas distintas, a primeira através de simulação e, a segunda por meio de *survey* com especialistas. Cada forma de avaliação é descrita em detalhes nas seções a seguir bem como seus respectivos resultados.

5.2 SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

Segundo Schmeiser (1990), simulação computacional consiste em analisar e modelar sistemas estocásticos por meio de ferramentas computacionais. PIDD (1998) corrobora e acrescenta que simulação computacional corresponde à utilização de um modelo com o intuito de investigar e explorar situações do mundo real.

Kleijnen (2018) afirma que na simulação ocorre variação das entradas e dos parâmetros com o intuito de investigar os fenômenos que ocorrem durante o processamento e posteriormente, das saídas geradas. PIDD (1998) corrobora ao dizer que na simulação acontecem as modificações com o objetivo de avaliar qual evento ocorreria se uma ação específica fosse tomada. Portanto, com o resultado das variações é possível verificar cada um desses resultados sob numerosos aspectos, viabilizando a comparação do comportamento do mesmo modelo em várias situações diferentes. Schmeiser (1990) ainda acrescenta que baseado nos resultados da simulação podem ser feitas análises estatísticas a fim de examinar o desempenho obtido.

Devido a isso, simulação computacional é amplamente utilizada em várias áreas do conhecimento inclusive para investigação de métodos MCDM, como por exemplo, no trabalho de Mendes et al. (2020) que construíram uma simulação para analisar o comportamento do método MCDM FITradeoff.

Assim, devido aos fatores mencionados anteriormente, ao volume e especificidade dos dados para executar o processo SMIPP serem consideravelmente grande e, ser bastante raro encontrar empresas que possuam todos os dados organizados para aplicar o processo proposto e que estejam dispostas a fornecer esses dados, optou-se por utilizar simulação nesta pesquisa.

Base de dados

A princípio, considerou-se aplicar a mesma base de dados usada na validação do *framework* SMPF, que serviu de alicerce para o desenvolvimento do processo SMIPP. Essa base foi desenvolvida a partir de um estudo de caso realizado em uma indústria de mineração de carvão localizada no nordeste da África do Sul, em 2014, e, o ativo selecionado foi uma escavadeira. Contudo, ao analisar os dados disponíveis, verificou-se que havia uma grande lacuna de informações no estudo de Swart (2015), tornando inviável a montagem da base de dados. Diante disso, buscou-se por publicações associadas a esses estudo mas, estas não informavam onde encontrar a base de dados. Então, autora desta tese entrou em contato com os autores porém, as tentativas de contato não foram bem-sucedidas.

Tendo em vista que não foi possível obter a base de dados utilizada no estudo de Swart (2015) então, optou-se por implementar o *framework* SMPF, usando outra base de dados, depois aplicar o processo SMIPP com a mesma base de dados e, posteriormente comparar os resultados gerados a fim de analisar se o objetivo do processo SMIPP consegue ser

alcançado, ou seja, se ele ajuda na identificação dos agrupamentos de atividades de manutenção, de sistemas multiativos homogêneos, que amplificam o retorno do investimento em paradas de manutenção com restrições de tempo e orçamento.

Assim, após uma vasta pesquisa na literatura decidiu-se utilizar uma base produzida a partir de um estudo de caso que foi realizado por Correia (2017), no ano de 2017, referente a uma indústria que fabrica papel e celulose. Optou-se por esse estudo de caso pelo fato dele, 1) disponibilizar a base de dados sobre manutenções que precisam ser realizadas em paradas de manutenção e, 2) considerar restrições de tempo e orçamento durante as paradas de manutenção.

Dessa forma, de acordo com Correia (2017), a indústria onde o estudo de caso foi realizado está localizada na cidade de Guarapuava, interior do Paraná e gera 250 empregos diretos. O foco da produção está no papel *Kraft* que é utilizado para diversos fins inclusive, chapas de papelão. Segundo Correia (2017), devido a isso essa fábrica compõe um grupo de indústrias de embalagens muito influente na confecção de chapas e embalagens de papelão no Brasil.

Correia (2017) diz que, para seu estudo de caso, escolheu caldeira de biomassa devido, a criticidade desse tipo de ativo no processo de produção de papel sobretudo, na etapa de secagem. A Figura 58 apresenta a árvore funcional de uma caldeira de biomassa. Os retângulos largos nas cores rosa, azul e roxo representam os principais sistemas (balão, fornalha, ventilação, exaustão, transporte de cavaco e abastecimento de água) e, os retângulos estreitos nas mesmas cores simbolizam os identificadores dos componentes dos sistemas, exemplo, 141-MOE-001 e 141-EST-001. A Tabela 44 mostra o identificador dos componentes dos sistemas com suas respectivas descrições.

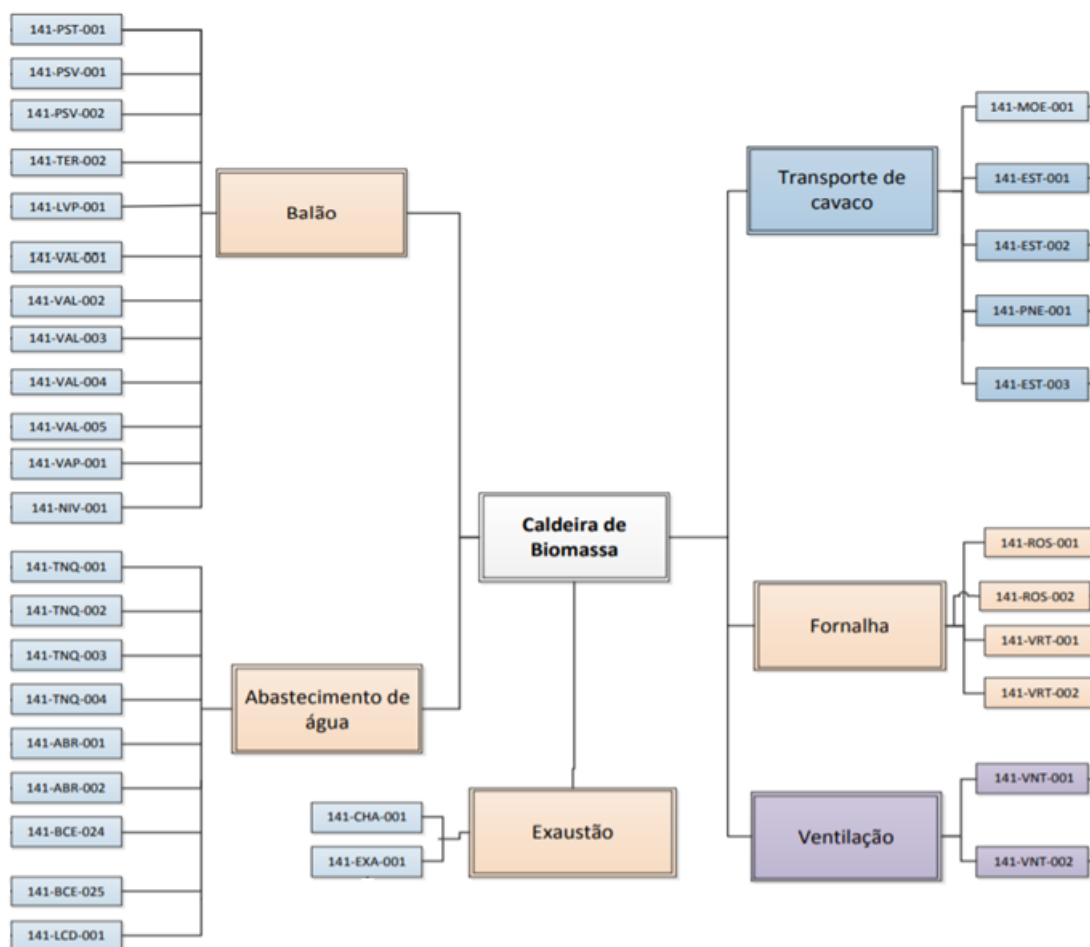
Tabela 44 – Descrição dos identificadores dos componentes

Identificador	Descrição
141-ABR-001	Abrandador 01
141-ABR-002	Abrandador 02
141-BCE-024	Bomba de água de alimentação
141-BCE-025	Bomba de água de alimentação
141-CHA-001	Chaminé
141-EST-001	Correia transportadora 01
141-EST-002	Correia transportadora 02
141-EST-003	Correia transportadora 03
141-EXA-001	Exaustor de tiragem
141-LCD-001	Linha de condensado

141-LVP-001	Linha de vapor
141-MOE-001	Moega
141-NIV-001	Indicador de nível
141-PNE-001	Peneira de disco
141-PSV-001	Válvula de segurança
141-PSV-002	Válvula de segurança
141-PST-001	Pressostato da caldeira
141-ROS-001	Rosca de cavaco da peneira de disco
141-ROS-002	Rosca dosadora de cavaco da caldeira
141-TNQ-001	Tanque de água fresca para os abrandadores
141-TNQ-002	Tanque de alimentação
141-TNQ-003	Tanque do sistema de abrandamento de água
141-TNQ-004	Tanque de descarga de fundo
141-TER-001	Termômetro
141-VAL-001	Válvula 01 de descarga de fundo
141-VAL-002	Válvula 02 de descarga de fundo
141-VAL-003	Válvula 03 de descarga de fundo
141-VAL-004	Válvula 04 de descarga de fundo
141-VAL-005	Válvula 05 de descarga de fundo
141-VAP-001	Válvula principal
141-VNT-001	Ventilador de ar secundário
141-VNT-002	Ventilador de ar primário
141-VRT-001	Válvula rotativa 01
141-VRT-002	Válvula rotativa 02

Fonte: Adaptado de (CORREIA, 2017)

Figura 58 – Árvore funcional de uma caldeira de biomassa



Fonte: Adaptado de (CORREIA, 2017)

A Figura 59 apresenta os principais sistemas de uma caldeira de biomassa. Observando a figura de cima para baixo e da esquerda para a direita, verifica-se que ela é composta por cinco subfiguras das quais, letra a representa o sistema balão, letra b fornalha, letra c ventilação, letra d exaustão e por fim, letra e abastecimento de água.

Figura 59 – Principais sistemas de uma caldeira de biomassa



(a) balão, (b) fornalha, (c) ventilação, (d) exaustão e (e) abastecimento de água

Fonte: (CORREIA, 2017)

Após seleção e obtenção da base, o próximo passo foi analisar os dados do ponto de vista da qualidade destes. Para isso foi necessário realizar um trabalho cuidadoso, observando todos os valores das instâncias detalhadamente pois, foram encontrados dados faltantes, duplicados, muitos erros de digitação, entre outros. Assim, foi necessário fazer uma limpeza na base os dados de forma que os mesmos ficassem organizados e padronizados. Após essa verificação, os dados foram considerados íntegros de forma que a base de dados pôde ser utilizada nas simulações.

Ao analisar a base verificou-se que esta é composta por 24 atributos dos quais, 17 são quantitativos e 7 categóricos. A Tabela 45 apresenta cada atributo da base com sua respectiva descrição.

Tabela 45 – Descrição dos atributos da base de dados

Atributo	Descrição
----------	-----------

Identificador do ativo	Código alfanumérico que identifica unicamente um ativo
Ativo	Nome do ativo
Identificador do sistema	Código alfanumérico que identifica unicamente um sistema
Sistema	Nome do sistema
Identificador do componente	Código alfanumérico que identifica unicamente um componente
Componente	Nome do componente
Atividade de manutenção	Nome da atividade de manutenção
Estado do componente	Código numérico que identifica o estado do componente (0 = em falha, 1 = em funcionamento)
Criticidade do componente	Código numérico que identifica se o componente é crítico ou não (0 = não crítico, 1 = crítico)
Custo de substituição do componente	Valor correspondente a reposição do componente
Falhas do componente	Valores relativos aos tempos de falha do componente
Tempo para o reparo	Tempo necessário para consertar o ativo
Idade do componente	Idade cronológica do componente
Idade efetiva do componente	Idade do componente considerando o desgaste sofrido
Vida média residual	Tempo de vida restante para o componente considerando o desgaste sofrido
Categoria da atividade de manutenção	Nome da categoria da atividade de manutenção (corretiva ou preventiva)
Custo fixo da atividade de manutenção corretiva	Valor das atividades de manutenção corretiva que não mudam com frequência (exemplo, compra de mercadoria)
Custo variável da atividade de manutenção corretiva	Valor das atividades de manutenção preventiva que mudam com frequência (exemplo, contratação de mão-de-obra operária terceirizada)

Custo fixo das atividades de manutenção preventiva	Valor da atividade de manutenção preventiva que não muda com frequência (exemplo, compra de peças sobressalentes)
Custo variável das atividades de manutenção preventiva	Valor da atividade de manutenção preventiva que muda com frequência (exemplo, valor da hora da mão-de-obra especializada)
Tarefa preparatória de manutenção preventiva do componente	Nome da tarefa preparatória de manutenção preventiva do componente (tarefa que precisa ser feita antes da atividade de manutenção preventiva exemplo, obtenção de um andaime)
Custo preparatória preventiva	Valor da tarefa preparatória de manutenção preventiva do componente (exemplo, valor do aluguel de um andaime)
Tarefa preparatória de manutenção corretiva do componente	Nome da tarefa preparatória de manutenção corretiva do componente (tarefa que precisa ser feita antes da atividade de manutenção corretiva exemplo, aquisição de ferramentas para desmontagem e montagem)
Custo preparatória corretiva	Valor da tarefa preparatória de manutenção corretiva do componente (exemplo, valor de compra de ferramentas para desmontagem e montagem)

Fonte: A autora

Em relação a distribuição dos dados, a Tabela 46 relaciona a quantidade de atividades de manutenção com os sistemas descritos anteriormente.

Tabela 46 – Distribuição dos dados na base de dados

Sistema	Atividades de manutenção
Abastecimento de água	57
Balão	107
Exaustão	20
Fornalha	50
Transporte de cavaco	84
Ventilação	10

Fonte: A autora

Concepção das simulações

Para concepção das simulações, estabeleceu-se que tanto o processo SMIPP quanto o *framework* SMPF de Swart (2015) deveriam ser submetidos as mesmas condições utilizando base de dados, respeitando as suas peculiaridades e limitações, a fim de se realizar uma análise comparativa dos resultados gerados pelas duas abordagens.

Importante ressaltar que o *framework* SMPF agrupa as atividades de manutenção considerando apenas o componente que a atividade pertence, ou seja, para gerar os grupos é feita uma análise combinatorial sem repetição com os componentes do ativo. Assim, para o sistema balão são gerados 255 grupos e para o sistema transporte de cavaco são 31 grupos.

Por outro lado, o processo SMIPP leva em consideração diversos atributos da base de dados inclusive, técnicos, tais como, falhas do componente, tempo para o reparo, idade do componente e idade efetiva do componente. A quantidade de grupos vai depender do número de *clusters* que são indicados pelas métricas utilizadas na clusterização.

No que se refere a base de dados, dois sistemas diferentes foram escolhidos, balão e transporte de cavaco. O critério para seleção desses sistemas foi a quantidade de atividades de manutenção pois, não seria viável aplicar o processo SMIPP em um sistema com poucas atividades de manutenção devido ao resultado enviesado que as tecnologias de IA trariam. Assim, após um levantamento foi verificado que o sistema balão possuía 107 atividades e transporte de cavaco 84, conforme mostra a Tabela 46. Diante disso, para analisar, minuciosamente, a aplicação do processo SMIPP, ficou estabelecido que este precisaria ser simulado três vezes, a primeira com os dados do sistema balão do ativo A, a segunda com os dados do sistema transporte de cavaco do ativo B e a terceira com os dados dos sistemas balão e transporte de cavaco de A e B.

Para finalizar a concepção das simulações, em relação as decisões estratégicas, optou-se por utilizar o mesmo cenário para as três simulações, o cenário pessimista. Essa decisão ocorreu pelo fato deste cenário abranger uma maior variedade de situações relativas a restrição de tempo e orçamento durante uma parada de manutenção. Assim, os valores utilizados nas decisões estratégicas do cenário pessimista foram baseados nos valores *default* de alguns dados do *framework* SMPF de Swart (2015) pois, estes são utilizados nos cálculos das dimensões e índices. Além disso, para que a fosse realizada a análise da dependência econômica, os valores *default* do restante dos dados foram baseados nos trabalhos de Vu (2015), Nguyen (2019) e (CORREIA, 2017). A Tabela 47 exhibe as decisões estratégicas com seus respectivos valores.

Tabela 47 – Valores utilizados nos custos, parâmetros e dados estratégicos

Dado estratégico	Valor
------------------	-------

Custo de indisponibilidade planejada do sistema (atividade de manutenção e atividade preparatória)	R\$ 60.000,00
Custo de indisponibilidade não planejada do sistema (atividade de manutenção e atividade preparatória)	R\$ 70.000,00
Ínício do horizonte de planejamento	0 (inteiro)
Custo da tarefa preparatória preventiva	R\$ 30.000,00
Custo da tarefa preparatória corretiva	R\$ 20.000,00
Estado do componente	1 (0 - inativo, 1 - ativo)
Criticidade do componente	1 (0 - não crítico, 1 - crítico)
Perda de produção	10% e 120 horas
Tempo da manutenção	552 horas
Orçamento da manutenção	R\$ 53.000,53
Tempo extra	24 horas
Orçamento extra	R\$ 2.650,02

Fonte: A autora

Considerando o cenário pessimista, estabeleceu-se uma perda de 120 horas no tempo da manutenção e 10% no orçamento, conforme definido no *framework* de Swart (2015). Dessa forma, aplicando essas perdas tem-se, $552 - 120 = 432$ horas e $53.000,53 - 10\% = 5.300,53$ portanto, o tempo da manutenção passa a ser de 432 horas e o orçamento R\$ 47.700,48.

Configurações

Durante a realização das simulações, ao passar pelas etapas do processo SMIPP, diversas métricas foram calculadas. A seleção dessas métricas ocorreu devido a, 1) grande relevância na literatura (LIU et al., 2010), (VU, 2015) e (NGUYEN, 2019), 2) possuir biblioteca disponível no *Scikit-Learn* (PEDREGOSA et al., 2011), ofertada da linguagem Python, com suporte de diversos desenvolvedores da comunidade e, 3) também terem sido utilizadas para validar o *framework* SMPF de Swart (2015). Todas as métricas são descritas na Tabela 48, onde também é possível conferir o valor ótimo de cada métrica. Além disso, essas estão agrupadas pelo seu respectivo objetivo.

Tabela 48 – Métricas utilizadas nas simulações

Métrica	Valor ótimo
---------	-------------

Validar a quantidade de grupos	
Método <i>Elbow</i>	Mínimo
Índice de Calinski-Harabasz	Máximo
Coeficiente de Silhueta	Máximo
Índice de Davies-Bouldin	Mínimo
Índice de S_Dbw	Mínimo
Investigar os custos individuais e agrupados	
Custo total dos componentes das atividades de manutenção quando são mantidas individualmente	Mínimo
Média dos <i>best fitness</i> dos custos agrupados	Mínimo
Custo total dos componentes das atividades de manutenção quando são agrupadas	Mínimo
Verificar o retorno do investimento	
Média do índice de investimento na manutenção	Máximo
Média do índice de orçamento	Mínimo
Média do índice de tempo	Mínimo

Fonte: (LIU et al., 2010), (VU, 2015), (NGUYEN, 2019) e (SWART, 2015)

Maciel, Vinhas e Câmara (2015) defendem que o valor retornado no coeficiente de silhueta deve ser compreendido conforme mostra a Tabela 49, ou seja, preferencialmente entre 0.71 a 1.00, sendo também aceitáveis valores de 0.51 a 0.70.

Tabela 49 – Descrição dos valores do coeficiente de silhueta

Valor	Descrição
0.71 a 1.00	Grupos descobertos possuem uma estrutura muito robusta
0.51 a 0.70	Grupos possuem uma estrutura razoável
0.26 a 0.50	Os grupos encontrados possuem uma estrutura fraca e pode ser artificial. É aconselhável tentar outros métodos sobre o conjunto de dados
≤ 0.25	Nenhuma estrutura foi descoberta

Fonte: (MACIEL; VINHAS; CÂMARA, 2015)

No algoritmo de clusterização da tarefa, Agrupar as atividades de manutenção, optou-se por não utilizar nenhuma propriedade categórica pois, ao fazer a transposição dos valores para numérico é gerada uma quantidade de *features* exponencial de acordo com

a quantidade de valores diferentes da propriedade. Por exemplo, ao transpor para valores numéricos os valores categóricos da propriedade "Identificador do componente" seriam geradas 13 *features* a mais na base de dados, fato esse que influencia no desempenho do modelo de acordo com Chandra, Canale e Dunson (2023), Boutsidis et al. (2014) e Ding e Li (2007). As propriedades "Estado do componente" e "Críticidade do componente" não são utilizadas na clusterização pois, foi estabelecido que todos os componentes estão em estado de funcionamento e são críticos.

Já no subprocesso Analisar a dependência econômica das atividades de manutenção agrupadas, é importante destacar que devido a característica estocástica das tecnologias de IA utilizadas no processo SMIPP, (ENGELBRECHT, 2007) e (RUSSELL; NORVIG, 2016), é necessário executar n vezes os cálculos para geração das métricas. Assim, a quantidade de vezes utilizada nas execuções foi determinada segundo o teorema do limite central, (MONTGOMERY; RUNGER, 2014) e (NAVIDI, 2012), ou seja, foram realizadas 30 execuções para o cálculo de cada métrica. Posteriormente, gerou-se a média aritmética das execuções, com exceção, do custo total dos componentes das atividades de manutenção quando são mantidas individualmente pois, este não possui natureza estocástica. Posteriormente, faz-se necessário a geração da média aritmética das execuções.

Em relação a seleção dos hiperparâmetros, e seus respectivos valores, utilizados no algoritmo de otimização na Etapa 4, Analisar dependência econômica, ocorreu de acordo com, 1) os trabalhos de Vu (2015), Nguyen (2019), que serviram como alicerce para o desenvolvimento da dependência econômica e, 2) os resultados das simulações preliminares realizadas. A Tabela 50 apresenta os hiperparâmetros do algoritmo de otimização com seus respectivos valores.

Tabela 50 – Hiperparâmetros do algoritmo de otimização

Hiperparâmetro	Valor
Número de gerações	10.000
População inicial	Grupos gerados pelo algoritmo de clusterização
Tipo de gene	inteiro
Número de combinações dos pais	5
Tipo de seleção dos pais	seleção de estado estacionário
Tipo de cruzamento	único ponto
Probabilidade de mutação	0.002
Tipo de mutação	randômica
Substituição randômica por mutação	verdadeiro

Valor mínimo da randômico da mutação	-0.05
Valor máximo da randômico da mutação	0.05
Critério de parada	até que o custo das atividades agrupadas seja menor que 1, 2, 3, 4 ou 5% do custo das atividades individuais

Fonte: A autora

Vale salientar que apenas o critério de parada da função de *fitness* do algoritmo de otimização que não foi baseado nos trabalhos de Vu (2015), Nguyen (2019) pois, este precisa ser customizado para o problema aplicado. Assim, estabeleceu-se que a função de *fitness* finalizaria a busca quando o custo das atividades de manutenção agrupadas atingisse um valor menor que x% do custo individual. Essa decisão foi uma forma de evitar que o algoritmo caísse no mínimo local. Assim, o valor da porcentagem do custo individual foi estabelecido em razão do tempo de processamento portanto, optou-se por calcular de 1 a 5%.

Diretrizes para analisar os resultados

Larson e Farber (2015) e Montgomery e Runger (2014) afirmam que testes de hipótese estatísticos tem como finalidade investigar afirmações, que envolvem valores de parâmetros de uma ou mais populações, por meio de amostras. Dessa forma, a fim de investigar se a hipótese de pesquisa desta tese pode ser aceita como verdadeira optou-se por analisar os resultados do retorno do investimento gerados pelo processo SMIPP com os produzidos pelo *framework* SMPF. Como apresentado na Tabela 48 o retorno do investimento é verificado utilizando a média dos índices, investimento na manutenção, orçamento e tempo.

Assim, estabeleceu-se que após as simulações seriam realizados três testes de hipótese para inferência estatística. Esses comparam a média das 30 execuções de cada índice calculado no processo proposto com o valor do índice obtido no *framework* base. Infelizmente, não foi possível gerar a média dos índices no *framework* de Swart (2015) pelo fato deste utilizar análise combinatória para gerar os grupos de atividades de manutenção, devido a isso foi utilizado o valor do próprio índice.

O primeiro teste de hipótese diz respeito ao índice de investimento na manutenção, como demonstrado a seguir:

$$\begin{cases} H_0 & : \mu MII_{SMIPP} \leq MII_{SMPF} \\ H_a & : \mu MII_{SMIPP} > MII_{SMPF} \end{cases}$$

Com a hipótese alternativa deseja-se verificar se a média do índice investimento na

manutenção dos grupos de atividades de manutenção priorizados através do processo SMIPP é maior que o índice investimento na manutenção dos grupos de atividades de manutenção priorizados por meio do *framework* SMPF. Já a hipótese nula corresponde ao exato oposto, isto é, examinar se a média do índice investimento na manutenção dos grupos de atividades de manutenção priorizados através do processo SMIPP é menor ou igual que o índice investimento na manutenção dos grupos de atividades de manutenção priorizados por meio do *framework* SMPF.

O segundo teste de hipótese está relacionado ao índice orçamento, conforme pode ser visualizado a seguir:

$$\begin{cases} H_0 & : \mu BI_{SMIPP} \geq BI_{SMPF} \\ H_a & : \mu BI_{SMIPP} < BI_{SMPF} \end{cases}$$

Graças a hipótese alternativa é possível verificar se a média do índice orçamento dos grupos de atividades de manutenção priorizados por meio do processo SMIPP é menor que o índice orçamento dos grupos de atividades de manutenção priorizados pelo *framework* SMPF. Por outro lado, a hipótese nula diz respeito a analisar se a média do índice orçamento dos grupos de atividades de manutenção priorizados por meio do processo SMIPP é menor ou igual que o índice orçamento dos grupos de atividades de manutenção priorizados pelo *framework* SMPF.

O terceiro teste de hipótese corresponde ao índice tempo, como é exibido a seguir:

$$\begin{cases} H_0 & : \mu TI_{SMIPP} \geq TI_{SMPF} \\ H_a & : \mu TI_{SMIPP} < TI_{SMPF} \end{cases}$$

Por meio da hipótese alternativa torna-se possível examinar se a média do índice tempo dos grupos de atividades de manutenção priorizados através do processo SMIPP é menor que o índice tempo dos grupos de atividades de manutenção priorizados pelo *framework* SMPF. Por outro lado, a hipótese nula corresponde a verificar se a média do índice tempo dos grupos de atividades de manutenção priorizados através do processo SMIPP é menor ou igual que o índice tempo dos grupos de atividades de manutenção priorizados pelo *framework* SMPF.

Os testes de hipótese listados anteriormente são utilizados com os resultados das simulações I e II. Em contrapartida, com a simulação III é preciso realizar testes de hipóteses diferentes por causa da limitação do *framework* base que não suporta mais de um ativo. Assim, optou-se por analisar os resultados do retorno do investimento gerados pela estrutura de agrupamento da tarefa, Agrupar as atividades de manutenção, do processo SMIPP com os produzidos pela estrutura de agrupamento do subprocesso, Analisar a dependência econômica, também do processo SMIPP. Dessa maneira, determinou-se que, de forma semelhante aos anteriores, também seriam realizados três testes de hipótese para inferência estatística. Esses comparam a média das 30 execuções de cada índice calculado

nos diferentes passos do processo proposto. Além disso, a fim de distinguir as estrutura de agrupamento do processo proposto definiu-se que a gerada pela tarefa, Agrupar as atividades de manutenção, seria EA_I e a produzida pelo subprocesso, Analisar a dependência econômica, seria EA_II.

Nesse contexto, o primeiro teste de hipótese diz respeito ao índice de investimento na manutenção, como demonstrado a seguir:

$$\begin{cases} H_0 & : \mu MII_{EA_II} \leq \mu MII_{EA_I} \\ H_a & : \mu MII_{EA_II} > \mu MII_{EA_I} \end{cases}$$

Com a hipótese alternativa deseja-se verificar se a média do índice investimento na manutenção dos grupos de atividades de manutenção gerados através do subprocesso, Analisar a dependência econômica, é maior que o índice investimento na manutenção dos grupos de atividades de manutenção produzidos por meio da tarefa, Agrupar as atividades de manutenção. Já a hipótese nula corresponde ao exato oposto, isto é, examinar se a média do índice investimento na manutenção dos grupos de atividades de manutenção gerados através do subprocesso, Analisar a dependência econômica, é menor ou igual que o índice investimento na manutenção dos grupos de atividades de manutenção produzidos por meio da tarefa, Agrupar as atividades de manutenção.

O segundo teste de hipótese está relacionado ao índice orçamento, conforme pode ser visualizado a seguir:

$$\begin{cases} H_0 & : \mu BI_{EA_II} \geq BI_{EA_I} \\ H_a & : \mu BI_{EA_II} < BI_{EA_I} \end{cases}$$

Graças a hipótese alternativa é possível verificar se a média do índice orçamento dos grupos de atividades de manutenção gerados por meio do subprocesso, Analisar a dependência econômica, é menor que o índice orçamento dos grupos de atividades de manutenção produzidos pela tarefa, Agrupar as atividades de manutenção. Por outro lado, a hipótese nula diz respeito a analisar se a média do índice orçamento dos grupos de atividades de manutenção gerados por meio do subprocesso, Analisar a dependência econômica, é menor ou igual que o índice orçamento dos grupos de atividades de manutenção produzidos pela tarefa, Agrupar as atividades de manutenção.

O terceiro teste de hipótese corresponde ao índice tempo, como é exibido a seguir:

$$\begin{cases} H_0 & : \mu TI_{EA_II} \geq TI_{EA_I} \\ H_a & : \mu TI_{EA_II} < TI_{EA_I} \end{cases}$$

Por meio da hipótese alternativa torna-se possível examinar se a média do índice tempo dos grupos de atividades de manutenção gerados através do subprocesso, Analisar a dependência econômica, é menor que o índice tempo dos grupos de atividades de manutenção produzidos pela tarefa, Agrupar as atividades de manutenção. Por outro lado,

a hipótese nula corresponde a verificar se a média do índice tempo dos grupos de atividades de manutenção gerados através do subprocesso, Analisar a dependência econômica, é menor ou igual que o índice tempo dos grupos de atividades de manutenção produzidos pela tarefa, Agrupar as atividades de manutenção.

Em relação ao teste de normalidade optou-se por utilizar o Shapiro-Wilk. Essa escolha ocorreu devido, 1) aos resultados da pesquisa de Razali, Wah et al. (2011) que compara quatro testes de normalidade (Shapiro-Wilk, Kolmogorov-Smirnov, Lilliefors and Anderson-Darling) com diferentes amostras de tamanhos distintos. O trabalho mostrou que Shapiro-Wilk foi o teste que apresentou melhores resultados sendo inclusive, classificado como o teste de normalidade mais poderoso e, 2) ser um teste amplamente consolidado, utilizado e aplicado a diversos contextos, como pode ser visto em Souza et al. (2023), Nabou et al. (2021), González-Estrada e Cosmes (2019) e González-Estrada, Villaseñor e Acosta-Pech (2022).

Ferramenta utilizada

Com o propósito de executar as simulações, diversas ferramentas foram pesquisadas, tais como, PinkVERIFY, SNIPE-IT, CMDBuild porém, nenhuma delas atendia ao propósito porque não dispunham de como incluir as informações de entrada específicas nem os parâmetros de configurações necessários para o funcionamento do processo SMIPP.

Como algumas delas são *open-source* então, a autora desta tese foi investigar se seria possível alterar o código-fonte de algum dos simuladores disponíveis para customizar para o processo proposto.

Contudo, ao fazer um estudo de viabilidade foi verificado que demandaria mais esforço estudar e entender o código-fonte de uma ferramenta previamente desenvolvida e, posteriormente customizá-la do que implementar uma ferramenta especificamente para apoiar o processo SMIPP. Tomou-se essa decisão devido a análise da curva de aprendizado e custo para customização de uma ferramenta já existente em relação ao esforço para implementar uma nova ferramenta completamente planejada e estruturada para executar o SMIPP.

Assim, a autora desta tese desenvolveu uma ferramenta de apoio totalmente nova para o processo SMIPP, a qual foi utilizada para executar as simulações I, II e III. Os detalhes da ferramenta encontram-se no Apêndice L de acordo com as telas e informações que são exibidas para o usuário no sistema.

Simulação I

A simulação I foi realizada utilizando tanto o processo SMIPP como o *framework* SMPF. Todas as etapas são descritas em detalhes nesta subseção.

Processo SMIPP:

Na Etapa 1 - Identificar ativos, sistemas e componentes de interesse, do processo SMIPP, o sistema balão do ativo A foi selecionado com seus respectivos componentes, são eles, linha de vapor, visor de nível da caldeira, pressostato da caldeira, válvula 01, 02, 03 e 05 de descarga de fundo e válvula principal da caldeira.

Já na Etapa 2 - Coletar e gerenciar os dados dos sistemas e componentes dos ativos, as informações dos sistemas e componentes bem como das atividades de manutenção foram adquiridas através da base de dados. Assim, a Tabela 51 lista as atividades de manutenção, do sistema balão, que serão agrupadas.

Tabela 51 – Atividades de manutenção da simulação I

Atividade de manutenção
Eliminar vazamento na linha de vapor
Eliminar vazamento de vapor na caldeira
Substituir calha da rosca transportadora de cavaco
Regular pressão na linha de vapor
Trocar conexões na linha de vapor
Redirecionar carga da linha de vapor
Inspecionar linha de vapor
Verificar defeito no controlador de nível de água da caldeira
Trocar união do visor de nível
Verificar junta do visor de nível da caldeira
Regular pressão na linha de vapor
Trocar junta do visor de nível da caldeira
Trocar visor de nível da caldeira
Eliminar vazamento no pressostato da caldeira
Eliminar vazamento do sifão do presostato da caldeira
Trocar pressostato da caldeira
Limpar as oxidações nos contatos do pressostato
Substituição do diafragma do pressostato

Substituição da mola de tensão do pressostato
Substituição da mola de compressão do pressostato
Substituição do parafuso de pressão de parada do pressostato
Substituição da braçadeira do pressostato
Substituição da almofada de pressão do pressostato
Substituição do retentor da mola do pressostato
Substituição da sapata de pressão do pressostato
Substituição do anel de deslizamento do pressostato
Substituição do parafuso de aterramento do pressostato
Substituição do braço articulado do pressostato
Substituição do eixo do pressostato
Trocar válvula de descarga 01 da caldeira bremer
Verificar válvula de descarga 01
Trocar mola da válvula de descarga 01
Trocar suporte da mola da válvula de descarga 01
Trocar alavanca da válvula de descarga 01
Trocar tubo conector da válvula de descarga 01
Trocar retentor da válvula de descarga 01
Trocar parafuso regulador da válvula de descarga 01
Trocar anel de vedação da válvula de descarga 01
Trocar sensor da válvula de descarga 01
Trocar obturador da válvula de descarga 01
Trocar tampa da válvula de descarga 01
Trocar junta da tampa da válvula de descarga 01
Trocar trava do obturador da válvula de descarga 01
Trocar diafragma do piloto da válvula de descarga 01
Trocar válvula de descarga 02 da caldeira bremer
Verificar válvula de descarga 02
Trocar mola da válvula de descarga 02
Trocar suporte da mola da válvula de descarga 02
Trocar alavanca da válvula de descarga 02

Trocar tubo conector da válvula de descarga 02
Trocar retentor da válvula de descarga 02
Trocar parafuso regulador da válvula de descarga 02
Trocar anel de vedação da válvula de descarga 02
Trocar sensor da válvula de descarga 02
Trocar obturador da válvula de descarga 02
Trocar tampa da válvula de descarga 02
Trocar junta da tampa da válvula de descarga 02
Trocar trava do obturador da válvula de descarga 02
Trocar diafragma do piloto da válvula de descarga 02
Trocar válvula de descarga 03
Trocar junta e válvula de descarga 03
Eliminar vazamento de vapor na válvula de descarga 03
Trocar mola da válvula de descarga 03
Trocar suporte da mola da válvula de descarga 03
Trocar alavanca da válvula de descarga 03
Trocar tubo conector da válvula de descarga 03
Trocar retentor da válvula de descarga 03
Trocar parafuso regulador da válvula de descarga 03
Trocar anel de vedação da válvula de descarga 03
Trocar sensor da válvula de descarga 03
Trocar obturador da válvula de descarga 03
Trocar tampa da válvula de descarga 03
Trocar junta da tampa da válvula de descarga 03
Trocar trava do obturador da válvula de descarga 03
Trocar diafragma do piloto da válvula de descarga 03
Verificar válvula de descarga 03
Verificar válvula de descarga 05
Trocar mola da válvula de descarga 05
Trocar suporte da mola da válvula de descarga 05
Trocar alavanca da válvula de descarga 05

Trocar tubo conector da válvula de descarga 05
Trocar retentor da válvula de descarga 05
Trocar parafuso regulador da válvula de descarga 05
Trocar anel de vedação da válvula de descarga 05
Trocar sensor da válvula de descarga 05
Trocar obturador da válvula de descarga 05
Trocar tampa da válvula de descarga 05
Trocar junta da tampa da válvula de descarga 05
Trocar trava do obturador da válvula de descarga 05
Trocar diafragma do piloto da válvula de descarga 05
Trocar válvula de descarga 05
Trocar junta da válvula principal
Trocar válvula principal da caldeira
Trocar junta da entrada de água da caldeira
Trocar mola da válvula principal da caldeira
Trocar suporte da mola da válvula principal da caldeira
Trocar alavanca da válvula principal da caldeira
Trocar tubo conector da válvula principal da caldeira
Trocar retentor da válvula principal da caldeira
Trocar parafuso regulador da válvula principal da caldeira
Trocar anel de vedação da válvula principal da caldeira
Trocar sensor da válvula principal da caldeira
Trocar obturador da válvula principal da caldeira
Trocar tampa da válvula principal da caldeira
Trocar junta da tampa da válvula principal da caldeira
Trocar trava do obturador da válvula principal da caldeira
Trocar diafragma do piloto da válvula principal da caldeira
Verificar válvula principal da caldeira

Fonte: A autora

Mais adiante na Etapa 3 - Estabelecer decisões estratégicas, o cenário, valores utilizados nos custos, parâmetros e dados estratégicos foram todos previamente descritos na

subseção 5.2, Concepção das simulações, pois, eles são utilizados em todas as simulações.

Na sequência na Etapa 4 - Analisar dependência econômica, na tarefa, Agrupar as atividades de manutenção, são calculadas métricas para analisar os agrupamentos. Através da Tabela 52 é possível visualizar os valores obtidos pelas métricas bem como, os máximos produzidos.

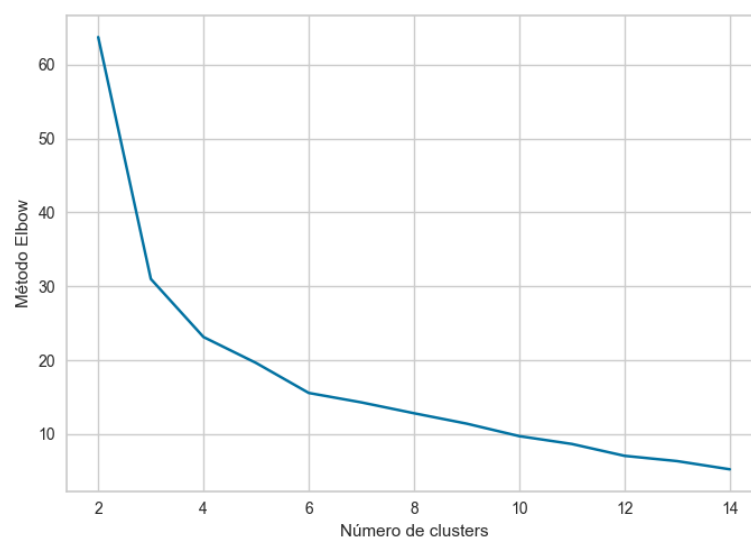
Tabela 52 – Métricas calculadas na simulação I

Métrica	Valor máximo obtido	Valor obtido
Média do método <i>Elbow</i>	15	3
Média do índice de Calinski-Harabasz	250	225.6614
Média do coeficiente de Silhueta	0.7	0.655
Média do índice de Davies-Bouldin	0.8	0.4523
Média do índice de S_Dbw	0.6	0.3580

Fonte: A autora

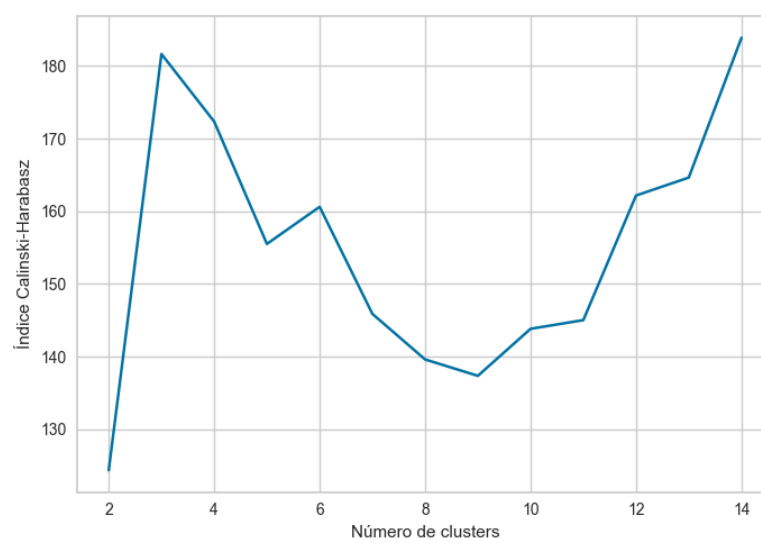
Conforme apresentado na Tabela 52, os valores obtidos pelas métricas correspondem a resultados positivos tendo em vista que, no método *Elbow*, índice de Davies-Bouldin, índice de S_Dbw, em que o valor desejado é o menor possível, a média das 30 execuções foi 3, 0.4523 e 0.3580, respectivamente e os valores máximos foram 15, 0.8 e 0.6, nesta ordem. Da mesma forma ocorreu com o índice de Calinski-Harabasz e o coeficiente de Silhueta nos quais o valor desejado é o maior possível e a média das 30 execuções foi 225.6614 e 0.655, respectivamente e os valores máximos foram 250 e 0.7, nesta ordem.

As Figuras 60, 61, 62, 63 e 64 apresentam no eixo y o valor obtido pelas métricas listadas na Tabela 52 e no eixo x o número de *clusters* indicado para formação do agrupamento de atividades de manutenção.

Figura 60 – Média do método *Elbow* da simulação I

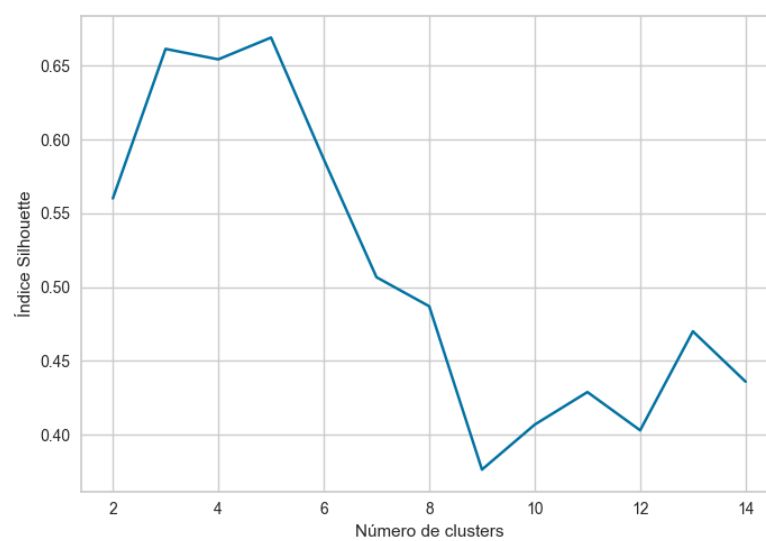
Fonte: A autora

Figura 61 – Média do índice de Calinski-Harabasz da simulação I



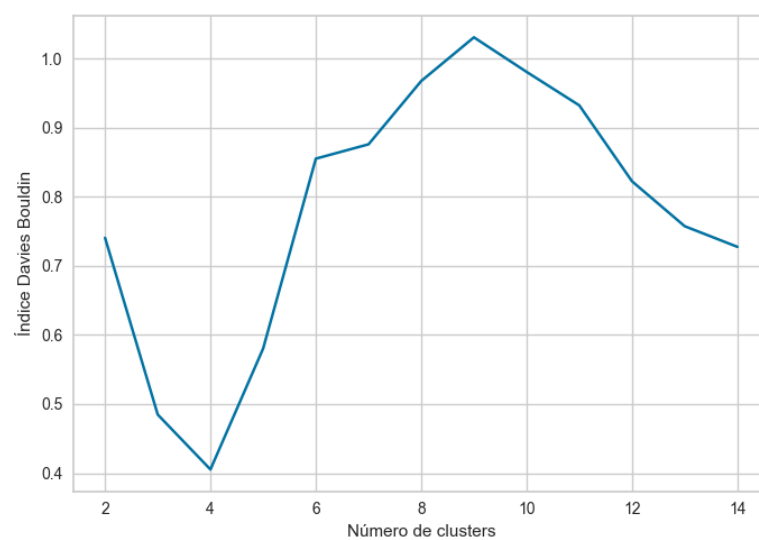
Fonte: A autora

Figura 62 – Média do coeficiente de Silhueta da simulação I



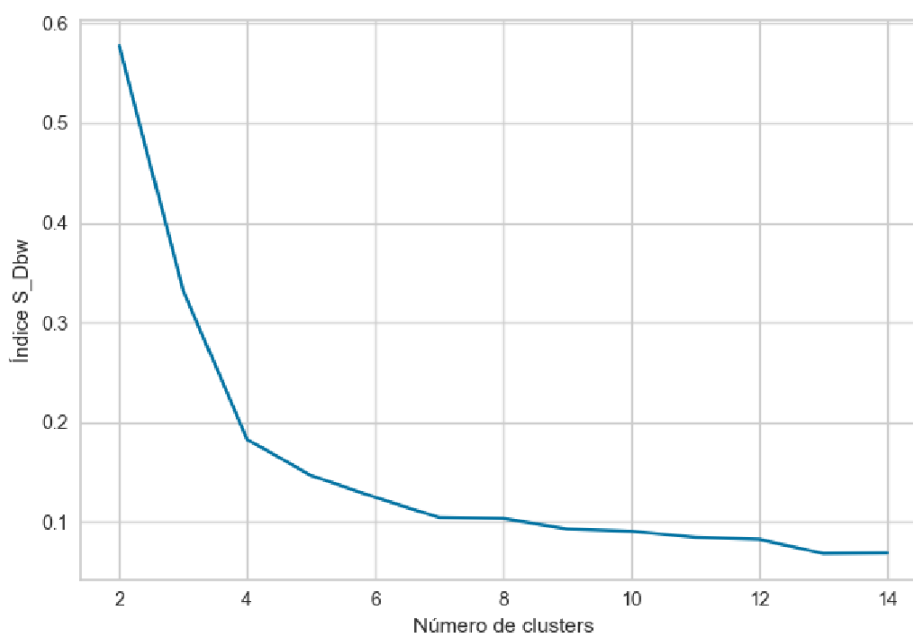
Fonte: A autora

Figura 63 – Média do índice de Davies-Bouldin da simulação I



Fonte: A autora

Figura 64 – Média do índice de S_Dbw da simulação I



Fonte: A autora

Ao analisar as figuras anteriores, verifica-se que, em geral, as métricas indicaram a geração de três a quatro *clusters* pois, no método *Elbow* é possível visualizar claramente que a quebra do cotovelo ocorre no número de *clusters* igual a três. Já no índice de Calinski-Harabasz o maior valor é obtido primeiramente com quatorze *clusters* e, em seguida com três. Da mesma forma ocorre no coeficiente de Silhueta no qual, o maior valor é obtido primeiramente com cinco *clusters* e, em seguida com três. Por outro lado no índice de Davies-Bouldin, o menor valor é obtido primeiramente com quatro *clusters* e, em seguida com sete. E, por fim, no índice de S_Dbw o menor valor é obtido quatorze *clusters* porém, do segundo até o quarto *cluster* ocorre um declínio exponencial na curva e, a partir de quatro a curva começa a ficar menos acentuada demonstrando uma estabilização. Assim, diante desses fatores, optou-se pela geração de três grupos de atividades de manutenção. Importante mencionar que esses grupos são utilizados como entrada para a população inicial no algoritmo de otimização do subprocesso, Analisar a dependência econômica das atividades de manutenção agrupadas.

Ainda na Etapa 4 - Analisar dependência econômica, no subprocesso, Analisar dependência econômica das atividades de manutenção individualmente, é calculado o custo de executar as atividades de manutenção separadamente e o valor obtido foi 2.777e+06. Mais adiante esta mesma etapa, no subprocesso, Analisar a dependência econômica das atividades de manutenção agrupadas, foram calculados os custos de executar as atividades de manutenção reunidas em determinadas estruturas de agrupamento. Esses custos consideraram uma análise experimental de forma que foram calculados objetivando verificar o menor custo agrupado quando este atingisse um valor menor que 1, 2, 3, 4 e 5% do custo individual, conforme previamente descritos na subseção 5.2, Configurações. A

Tabela 53 apresenta os valores obtidos da média das 30 execuções do *best fitness* para os custos agrupados calculados.

Tabela 53 – Valores dos custos individuais menos x% e média dos *best fitness* da simulação I

Custo agrupado	
Custo individual - x%	Média <i>best fitness</i>
1% (2.74962E+06)	1.311e+06
2% (2.72184E+06)	1.240e+06
3% (2.69407E+06)	1.309e+06
4% (2.66629E+06)	1.264e+06
5% (2.63852E+06)	1.263e+06

Fonte: A autora

Assim, de acordo com os resultados produzidos pela média do *best fitness* é possível observar que o menor valor obtido, portanto o melhor resultado, foi o custo agrupado que foi calculado considerando o custo individual - 2% com 1.240e+06. Em seguida estão o custo individual - 5% e 4% com 1.263e+06 e 1.264e+06, respectivamente. E, por fim, estão o custo individual - 3% e 1% com 1.309e+06 e 1.311e+06, nesta ordem.

Esse resultado foi uma surpresa pois, esperava-se que o menor valor obtido fosse o custo individual - 5%. Acredita-se que a média do *best fitness* do custo individual - 2% foi a menor pelo fato do algoritmo de otimização ter demorado mais, quando comparado ao tempo de execução dos outros custos, realizando diversas combinações diferentes de arranjos das estruturas de agrupamentos e portanto, identificando a de menor valor.

Em relação a média do *best fitness* com pior resultado, ou seja, maior valor, este foi obtido com o custo individual - 1%. Isso já era esperado tendo em vista que este foi o custo com menor redução do valor do custo individual.

Em seguida na Etapa 5 - Calcular os custos das dimensões de decisão, as médias dos custo da dimensão produção, recurso e risco antes e depois da manutenção das 30 execuções são calculadas considerando o conjunto de atividades de manutenção produzidos tanto, 1) na tarefa, Agrupar as atividades de manutenção como também, 2) no subprocesso, Analisar a dependência econômica das atividades de manutenção agrupadas. Apesar da estrutura de agrupamento ser um artefato de saída apenas do subprocesso, Analisar dependência econômica, optou-se por também examinar o agrupamento gerado na clusterização, sobre a ótica das métricas anteriormente citadas, para fins de comparação. Os resultados obtidos podem ser visualizados na Tabela 54.

Tabela 54 – Média dos custos das dimensões na simulação I com o processo SMIPP

Grupo	Média ODC	Média ReDC	Média RDC_{BM}	Média RDC_{AM}
Agrupar as atividades de manutenção				
Grupo 01	1.237E+06	2.471E+07	2.776E+06	7.759E+05
Grupo 02	1.221E+06	2.453E+07	2.749E+06	7.691E+05
Grupo 03	1.284E+06	2.472E+07	2.780E+06	7.775E+05
Analisar dependência econômica agrupada (custo individual - 1%)				
Grupo 01	1.592E+06	2.471E+07	2.404E+06	6.695E+05
Grupo 02	1.437E+06	2.485E+07	2.417E+06	6.724E+05
Grupo 03	1.515E+06	2.490E+07	2.436E+06	6.782E+05
Analisar dependência econômica agrupada (custo individual - 2%)				
Grupo 01	1.241E+06	2.471E+07	2.373E+06	6.600E+05
Grupo 02	1.226E+06	2.485E+07	2.387E+06	6.629E+05
Grupo 03	1.277E+06	2.490E+07	2.405E+06	6.685E+05
Analisar dependência econômica agrupada (custo individual - 3%)				
Grupo 01	1.265E+06	2.471E+07	2.454E+06	6.864E+05
Grupo 02	1.220E+06	2.486E+07	2.477E+06	6.932E+05
Grupo 03	1.271E+06	2.490E+07	2.481E+06	6.931E+05
Analisar dependência econômica agrupada (custo individual - 4%)				
Grupo 01	1.392E+06	2.471E+07	2.395E+06	6.656E+05
Grupo 02	1.311E+06	2.485E+07	2.417E+06	6.723E+05
Grupo 03	1.326E+06	2.490E+07	2.420E+06	6.720E+05
Analisar dependência econômica agrupada (custo individual - 5%)				
Grupo 01	1.255E+06	2.471E+07	2.417E+06	6.741E+05
Grupo 02	1.261E+06	2.484E+07	2.439E+06	6.808E+05
Grupo 03	1.298E+06	2.490E+07	2.443E+06	6.810E+05

Fonte: A autora

A Tabela 54 exibe os resultados divididos em seis categorias, cada uma com três grupos de atividades de manutenção (Grupo 01, 02 e 03) e as médias das 30 execuções das dimensões produção, recurso, risco antes e depois da manutenção. A Tabela 118 do Apêndice K lista as atividades de manutenção de compõem os três grupos identificados

(Grupo 01, 02 e 03).

Os resultados obtidos mostram que os grupos do custo individual 2% apresentaram melhor desempenho com a média da dimensão produção 1.241E+06, 1.226E+06 e 1.277E+06 para os grupos 01, 02 e 03, respectivamente. Importante observar que esse resultado é muito semelhante aos dos grupos da tarefa, Agrupar as atividades de manutenção. Acredita-se que isso tenha ocorrido pelo fato das estruturas de agrupamento formadas no contexto do custo individual 2% não terem apresentado muita variabilidade quando comparados aos grupos da população inicial.

No que diz respeito ao pior resultado, ou seja, maior valor, este foi obtido pelos grupos do custo individual 1%. Isso já era esperado tendo em vista que este foi o custo com menor redução do valor do custo individual.

Posteriormente na Etapa 6 - Calcular os índices, as médias dos índices investimento na manutenção, orçamento e tempo, foram calculados de forma semelhante as dimensões, ou seja, considerando os dois grupos de atividades de manutenção gerados no processo SMIPP. A Tabela 55 apresenta os resultados obtidos.

Tabela 55 – Média dos índices gerados na simulação I com o processo SMIPP

Grupo	Média do MII	Média do BI	Média do TI
Agrupar as atividades de manutenção			
Grupo 01	6.030E-02	5.209E+02	1.540E-01
Grupo 02	5.998E-02	5.172E+02	1.533E-01
Grupo 03	6.062E-02	5.210E+02	1.545E-01
Analisar dependência econômica agrupada (custo individual - 1%)			
Grupo 01	6.151E-02	5.209E+02	1.540E-01
Grupo 02	6.143E-02	5.239E+02	1.546E-01
Grupo 03	6.179E-02	5.248E+02	1.547E-01
Analisar dependência econômica agrupada (custo individual - 2%)			
Grupo 01	6.099E-02	5.210E+02	1.540E-01
Grupo 02	6.097E-02	5.239E+02	1.546E-01
Grupo 03	6.131E-02	5.248E+02	1.547E-01
Analisar dependência econômica agrupada (custo individual - 3%)			
Grupo 01	6.272E-02	5.211E+02	1.540E-01
Grupo 02	6.308E-02	5.239E+02	1.546E-01
Grupo 03	6.301E-02	5.247E+02	1.547E-01
Analisar dependência econômica agrupada (custo individual - 4%)			

Grupo 01	6.169E-02	5.211E+02	1.540E-01
Grupo 02	6.204E-02	5.238E+02	1.546E-01
Grupo 03	6.196E-02	5.247E+02	1.547E-01
Analisar dependência econômica agrupada (custo individual - 5%)			
Grupo 01	6.187E-02	5.212E+02	1.541E-01
Grupo 02	6.220E-02	5.236E+02	1.545E-01
Grupo 03	6.212E-02	5.246E+02	1.547E-01

Fonte: A autora

Assim como a Tabela 54, a Tabela 55 também exibe os resultados divididos em seis categorias, cada uma com três grupos de atividades de manutenção (Grupo 01, 02 e 03). Porém, nesta tabela são mostradas as médias das 30 execuções dos índices investimento na manutenção, orçamento e tempo.

Os resultados obtidos mostram que os grupos do custo individual 3% apresentaram melhor desempenho com a média do Índice de investimento na manutenção (MII) 6.272E-02, 6.308E-02 e 6.301E-02, a média do Índice de orçamento (BI) 5.211E+02, 5.239E+02 e 5.247E+02 e por fim, a média do Índice de tempo (TI) 1.540E-01, 1.546E-01 e 1.547E-01 para os grupos 01, 02 e 03, respectivamente. Acredita-se que esse resultado ocorreu devido à média do *best fitness* e da dimensão produção terem sido bastante positivas quando comparadas aos outros custos obtidos.

No que diz respeito ao pior resultado, este foi obtido pelos grupos do custo individual 2% com a média do MII 6.099E-02, 6.097E-02 e 6.131E-02, a média do BI 5.210E+02, 5.239E+02 e 5.248E+02 e por fim, a média do TI 1.540E-01, 1.546E-01 e 1.547E-01 para os grupos 01, 02 e 03, nesta ordem.

Esse resultado foi uma surpresa pois, esperava-se que o menor valor obtido fosse o custo individual - 5%. Acredita-se que a média do *best fitness* do custo individual - 3% foi a menor pelo fato do algoritmo de otimização ter demorado mais, quando comparado ao tempo de execução dos outros custos, realizando diversas combinações diferentes de arranjos das estruturas de agrupamentos e portanto, identificando a de menores valores para os índices.

Mais adiante na Etapa 7 - Executar a priorização e ordenar os resultados, a matriz de critérios é criada. Essa matriz é composta pelos índices investimento na manutenção, orçamento e tempo. Os valores atribuídos foram baseados no trabalho de Abastante et al. (2019). A Tabela 56 mostra a matriz com os valores dos seus respectivos critérios.

Tabela 56 – Matriz de critérios da simulação I

	TI	BI	MII
TI	1	0.333	0.111
BI	3	1	0.142
MII	9	7	1

Fonte: A autora

Por meio da Tabela 56 é possível visualizar que MII possui importância absoluta e forte em relação a TI e BI respectivamente. E BI possui importância baixa em relação a TI.

Continuando com a Etapa 7 - Executar a priorização e ordenar os resultados, a matriz de critérios criada anteriormente será fuzzificada para realização dos cálculos com os números *fuzzy*. A Tabela 57 exibe a matriz com os valores dos seus respectivos critérios fuzzificados.

Tabela 57 – Matriz de critérios fuzzificada da simulação I

	TI	BI	MII
TI	[1, 1, 3]	[0.2, 0.333, 1]	[0.111, 0.111, 0.142]
BI	[1, 3, 5]	[1, 1, 3]	[0.111, 0.142, 0.2]
MII	[7, 9, 9]	[5, 7, 9]	[1, 1, 3]

Fonte: A autora

Seguindo na Etapa 7 - Executar a priorização e ordenar os resultados, a matriz de alternativas é criada. Essa matriz é composta pelos grupos das atividades de manutenção identificados nas etapas anteriores do processo SMIPP. Os valores atribuídos foram baseados no trabalho de Abastante et al. (2019). A Tabela 58 mostra a matriz com os valores das suas respectivas alternativas.

Tabela 58 – Matriz de alternativas da simulação I

	Grupo 01	Grupo 02	Grupo 03
Grupo 01	1	0.111	0.333
Grupo 02	9	1	5
Grupo 03	3	0.2	1

Fonte: A autora

A fim de simplificar o processo de avaliação optou-se por construir apenas uma matriz de alternativas para todos os três critérios pois, caso fosse construída uma matriz de

alternativas para cada critério, ao todo seriam nove matriz de alternativas para calcular o vetor de prioridade, auto valor, índice de consistência, razão de consistência e peso das alternativas, ou seja, iria aumentar substancialmente o quantitativo de matrizes e a complexidade da simulação.

Analisando a Tabela 58 é possível observar que o Grupo 02 possui importância absoluta e moderada em relação ao Grupo 01 e 03 respectivamente. E o Grupo 03 possui importância baixa em relação ao Grupo 01.

Progredindo com a Etapa 7 - Executar a priorização e ordenar os resultados, a matriz de alternativas criada anteriormente será fuzzificada para realização dos cálculos com os números *fuzzy*. A Tabela 59 exibe a matriz com os valores das suas respectivas alternativas fuzzificadas.

Tabela 59 – Matriz de alternativas fuzzificada da simulação I

	Grupo 01	Grupo 02	Grupo 03
Grupo 01	[1, 1, 3]	[0.111, 0.111, 0.142]	[0.2, 0.333, 1]
Grupo 02	[7, 9, 9]	[1, 1, 3]	[3, 5, 7]
Grupo 03	[1, 3, 5]	[0.142, 0.2, 0.333]	[1, 1, 3]

Fonte: A autora

Após crias as matrizes de critérios e alternativas é preciso verificar a consistência dessas através do cálculo do vetor de prioridade, auto valor, índice e razão de consistência a fim de investigar se este último é menor que 0.10. A Tabela 60 exibe os valores calculados.

Tabela 60 – Valores de consistência da matriz de critérios e alternativas da simulação I

Vetor de prioridade	Auto valor	Índice de consistência	Razão de consistência
Matriz de critérios			
[0.069, 0.155, 0.777]	3.080	0.040	0.069
Matriz de alternativas			
[0.072, 0.748, 0.181]	3.028	0.014	0.024

Fonte: A autora

Por intermédio da Tabela 60 é possível observar que tanto a matriz de critérios como a de alternativas estão consistentes devido aos valores obtidos nos vetor de prioridade, auto valor, índice de consistência e, principalmente, razão de consistência com 0.069 (matriz de critérios) e 0.024 (matriz de alternativas).

Dando continuidade com a Etapa 7 - Executar a priorização e ordenar os resultados, os pesos das matrizes de critérios e alternativas é calculado de acordo com a média geométrica

e com a medida sintética, por meio dos algoritmos de Buckley (1985) e Chang (1996), nesta ordem. A Tabela 61 apresenta os pesos das matrizes de critérios e alternativas dos índices de investimento na manutenção, tempo e orçamento para cada um dos algoritmo *fuzzy*.

Tabela 61 – Pesos da matriz de critérios e alternativas da simulação I

Pesos dos critérios			
MCDM	Peso MII	Peso TI	Peso BI
FAHP (Geometric mean Method)	0.080	0.158	0.762
FAHP (Fuzzy extent analysis)	0.347	0.092	0.562
Pesos das alternativas			
MCDM	Grupo 01	Grupo 02	Grupo 03
FAHP (Geometric mean Method)	0.084	0.722	0.193
FAHP (Fuzzy extent analysis)	0.323	0.521	0.157

Fonte: A autora

Observando a Tabela 61, considerando os critérios, é possível verificar que os pesos obtidos pela média geométrica e medida sintética são bastante divergentes em si tratando do MII e TI pelo fato do primeiro apresentar 0.080 e 0.347 e o segundo 0.158 e 0.092. Em contrapartida, no BI os valores são mais próximos, 0.762 e 0.562, respectivamente.

No que diz respeito ao peso das alternativas, ocorreu a mesma situação, ou seja, a média geométrica e medida sintética geraram valores divergentes ao observar os Grupos 01 e 02 sendo o primeiro com 0.084 e 0.323 e o segundo com 0.722 e 0.521. Por outro lado, no Grupo 03 os valores são bem semelhantes com 0.193 e 0.157, nesta ordem.

E, por fim, a Etapa 7 - Executar a priorização e ordenar os resultados gera o *ranking* das alternativas priorizadas e ordenadas. A Tabela 62 mostra a posição de cada alternativa.

Tabela 62 – Ranking das alternativas da simulação I com o processo SMIPP

MCDM	Ranking
FAHP (Geometric mean Method)	1° Grupo 02
	2° Grupo 03
	3° Grupo 01
FAHP (Fuzzy extent analysis)	1° Grupo 02
	2° Grupo 01
	3° Grupo 03

Fonte: A autora

Através da Tabela 62 é possível observar que os dois algoritmos *fuzzy* convergiram para o mesmo resultado em relação ao primeiro lugar (Grupo 02) porém, o segundo e terceiro lugar tiveram posições diferentes. Esse resultado já era esperado devido, 1) a média dos índices MII, BI e TI da análise da dependência econômica das atividades de manutenção agrupadas ter identificado a estrutura de agrupamento do custo individual - 2% como melhor resultado e, 2) ao Grupo 02 ter recebido importância absoluta e moderada quando comparado aos outros grupos, fato que influencia no peso da alternativa.

No que se refere a, divergência entre a posição dos Grupos 02 e 03 na média geométrica e medida sintética, segundo Goicoechea, Stakhiv e Li (1992) e Wang e Triantaphyllou (2014) não é raro acontecer de métodos MCDM distintos que receberem as mesmas informações sobre um determinado problema priorizarem alternativas em posições variadas dentro de um mesmo *ranking*.

Framework SMPF:

No que se refere ao *framework* SMPF Passo 1 - Identifique o sistema de interesse e seus componentes, da mesma forma como ocorreu no processo SMIPP, optou-se por escolher o sistema balão do ativo A juntamente com seus componentes.

Em relação ao Passo 2 - Colete e gerencie os dados dos componentes, por meio da base de dados foram adquiridas as atividades de manutenção (ver Tabela 51) e as informações dos sistemas e componentes.

Acerca do Passo 3 - Considere as decisões estratégicas da parada de manutenção, assim como no processo SMIPP esse passo também descreveu previamente na subseção 5.2, Concepção das simulações, o cenário, valores usados nos custos, parâmetros e dados estratégicos utilizados.

No que diz respeito ao Passo 4 - Calcule os custos das dimensões de decisão, foram calculados os custos da dimensão produção, recurso e risco antes e depois da manutenção para cada um dos 255 grupos gerados pela análise combinatorial sem repetição utilizada pelo *framework* SMPF para agrupar as atividades de manutenção. O produto final dos valores calculados podem ser visualizados no Apêndice F.

Por meio dos resultados gerados é possível observar que os grupos 06, 01 e 04 apresentaram os melhores resultados em se tratando dos custos dimensão produção e recurso, com 8.038E+05, 1.195E+06 e 1.395E+06 para o primeiro custo e 1.770E+07, 2.063E+07 e 2.208E+07 para o segundo custo, respectivamente. Sobre os custos das dimensões risco antes e depois da manutenção esses também apresentarem resultados positivos pois, o risco antes era 6.249E+04, 1.824E+06 e 1.661E+05 e depois ficou 5.844E+04, 6.294E+05 e 1.635E+01. Ou seja, nos grupos 06, 01 e 04 haverá uma redução no risco após a realização da manutenção.

Esse resultado já era esperado pois, os primeiros grupos possuem um conjunto menor

de atividades de manutenção quando comparados aos últimos grupos, fazendo com que os primeiros sejam mais fáceis de serem gerenciados e consequentemente necessitem de menos recursos.

Em contrapartida, os grupos 255, 249 e 254 mostraram os piores resultados com os custos dimensão produção e recurso, com $2.920\text{E}+07$, $2.840\text{E}+07$ e $2.801\text{E}+07$ para o primeiro custo e $3.195\text{E}+08$, $3.018\text{E}+08$ e $2.988\text{E}+08$ para o segundo custo, respectivamente. Apesar desses resultados, em relação aos custos das dimensões risco antes e depois da manutenção os resultados foram positivos pois, o risco antes era $4.465\text{E}+07$, $4.114\text{E}+07$ e $1.454\text{E}+07$ e depois ficou $1.286\text{E}+07$, $1.114\text{E}+07$ e $2.634\text{E}+06$. Isto é, nos grupos 255, 249 e 254 haverá uma redução no risco após a realização da manutenção.

Esse resultado também já era esperado pois, os últimos grupos possuem um conjunto muito grande de atividades de manutenção quando comparados aos primeiros grupos, fazendo com que os últimos sejam mais difíceis de serem gerenciados e consequentemente necessitem de mais recursos.

No que tange o Passo 5 - Calcule os índices da priorização, foram calculados os custos dos índices investimento na manutenção, orçamento e tempo para cada um dos 255 grupos gerados pela análise combinatorial sem repetição utilizada pelo *framework* SMPF para agrupar as atividades de manutenção. O produto final dos valores calculados podem ser visualizados no Apêndice F.

Por meio dos resultados gerados é possível observar que os grupos 255, 247 e 249 apresentaram os melhores resultados em se tratando do índice investimento na manutenção, com $9.116\text{E}-02$, $9.099\text{E}-02$ e $9.086\text{E}-02$, respectivamente. Sobre os índices orçamento e tempo os melhores resultados ficaram com os grupos 06, 01 e 04 com $3.731\text{E}+02$, $4.654\text{E}+02$ e $4.654\text{E}+02$ para o primeiro índice e $5.083\text{E}+01$, $5.622\text{E}+01$ e $7.287\text{E}+01$ para o segundo índice. No que concerne ao resultado dos melhores grupos do índice investimento na manutenção (255, 247 e 249) esse foi uma surpresa tendo em vista que dois deles (grupos 255 e 249) foram classificados como os piores resultados em relação aos custos dimensão produção e recurso. Por outro lado, o que tange ao resultado dos melhores grupos dos índices orçamento e tempo (grupos 06, 01 e 04) esse já era esperado pelo fato deles terem sido categorizados como os melhores resultados em relação aos custos dimensão produção e recurso.

Sobre o Passo 6 - Ordene os índices da priorização, são utilizados quatro métodos MCDM (Electre II, Promethee II, WSM e WPM) além disso, o mesmo peso (0.333) foi aplicado em todos método, ou seja, não houve uma diferenciação em relação a preferência dos métodos. Infelizmente, não foi descrito a causa do valor dos pesos ser 0.333. Ademais, para executar o método Electre II este precisa definir os valores dos limites de concordância e discordância positivo, negativo e neutro e, infelizmente esses valores não foram descritos. Sendo assim, optou-se por utilizar os valores padrões da biblioteca *pyDecision*, conforme pode ser visualizado na Tabela 63.

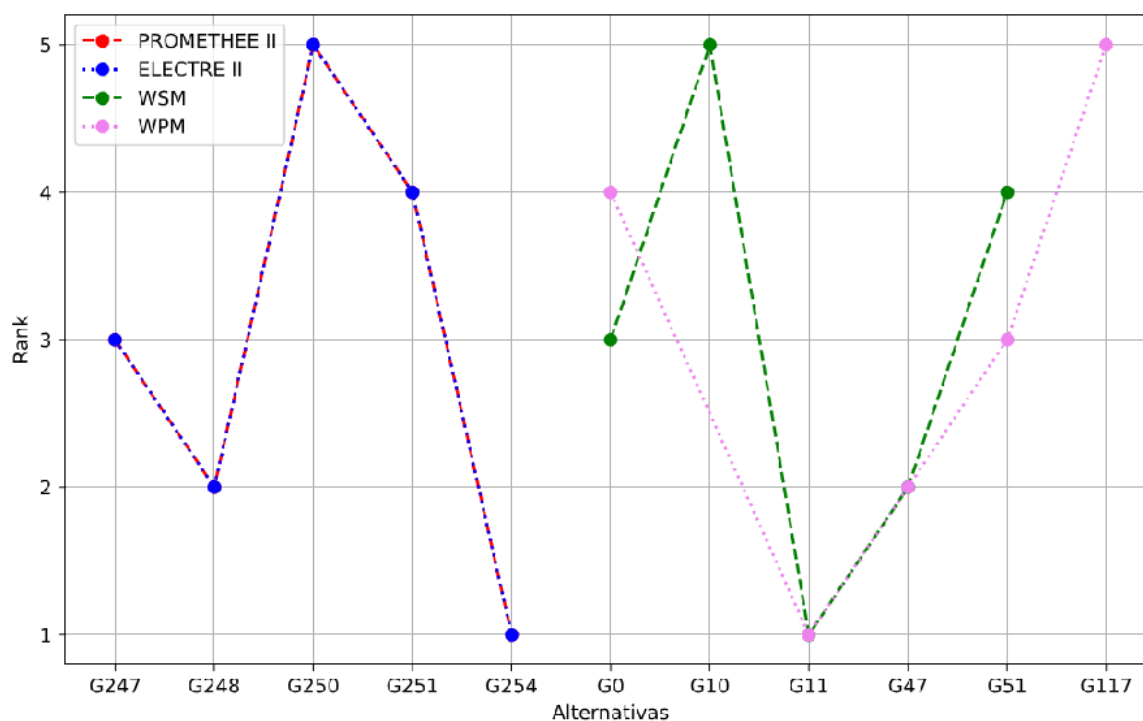
Tabela 63 – Valores utilizados nos limites do método ELECTRE

Limite	Valor
Limite de concordância negativo	0.35
Limite de concordância zero	0.5
Limite de concordância positivo	0.65
Limite de discordância negativo	0.35
Limite de discordância positivo	0.65

Fonte: A autora

O *framework* SMPF define que os critérios da priorização são os índices investimento na manutenção, orçamento e tempo e as alternativas são os grupos de atividades da manutenção. Portanto, após a execução dos quatro métodos MCDM adotados, o *ranking* da priorização é estabelecido.

A Figura 65 apresenta graficamente os resultados produzidos pela priorização realizada através dos métodos Promethee II, Electre II, WSM e WPM.

Figura 65 – Ranking das alternativas da simulação I com o *framework* SMPF

Fonte: A autora

Por meio da Figura 65 é possível visualizar que as linhas azul e vermelha relativas aos métodos Promethee II e Electre II estão exatamente sobrepostas, ou seja, as mesmas posições foram ocupadas pelos mesmos grupos. Por outro lado, os métodos MCDM WSM

e WPM convergiram no que diz respeito ao primeiro e segundo lugar. Já o terceiro e quarto lugar no WSM estão trocados no WPM. E, por fim, o quinto e último lugar no WSM é diferente do WPM.

A Tabela 64 apresenta em detalhes os grupos de atividades de manutenção com dos seus respectivos índices que ocuparam as cinco primeiras posições da priorização.

Tabela 64 – Ranking das alternativas da simulação I com o *framework* SMPF

MCDM	Ranking	MII	BI	TI
PROMETHEE II	1° Grupo 255	9.116e-02	6.734e+03	1.306e+03
	2° Grupo 249	9.086e-02	6.361e+03	1.255e+03
	3° Grupo 248	9.075e-02	6.171e+03	1.194e+03
	4° Grupo 252	8.945e-02	5.879e+03	1.198e+03
	5° Grupo 251	8.409e-02	6.269e+03	1.233e+03
ELECTRE II	1° Grupo 255	9.116e-02	6.734e+03	1.306e+03
	2° Grupo 249	9.086e-02	6.361e+03	1.255e+03
	3° Grupo 248	9.075e-02	6.171e+03	1.194e+03
	4° Grupo 252	8.945e-02	5.879e+03	1.198e+03
	5° Grupo 251	8.409e-02	6.269e+03	1.233e+03
WSM	1° Grupo 12	7.507e-02	9.372e+02	1.389e+02
	2° Grupo 48	8.223e-02	1.403e+03	2.118e+02
	3° Grupo 01	5.475e-02	4.348e+02	5.622e+01
	4° Grupo 52	7.553e-02	1.310e+03	1.898e+02
	5° Grupo 11	6.203e-02	9.002e+02	1.291e+02
WPM	1° Grupo 12	7.507e-02	9.372e+02	1.389e+02
	2° Grupo 48	8.223e-02	1.403e+03	2.118e+02
	3° Grupo 52	7.553e-02	1.310e+03	1.898e+02
	4° Grupo 01	5.475e-02	4.348e+02	5.622e+01
	5° Grupo 118	8.262e-02	1.776e+03	2.626e+02

Fonte: A autora

A Tabela 64 mostra que os métodos MCDM Promethee II e Electre II tiveram exatamente os mesmos resultados, isto é, as mesmas posições foram ocupadas pelos mesmos grupos. Assim, o grupo 255 ficou em primeiro lugar, o grupo 249 em segundo, grupo 248 em terceiro, grupo 252 em quarto e grupo 251 em quinto. Esse resultado já era esperado pelo fato de dois dos grupos (255 e 249) terem sido classificados como os melhores resulta-

dos em se tratando do índice investimento na manutenção embora, os índices orçamento e tempo não tenham sido tão positivos. Apesar que analisando minuciosamente verifica-se o grupo 255, que ocupa o primeiro lugar, reúne todas as atividades de manutenção, ou seja, ele engloba todo o conjunto de atividades coletadas, fazendo com que a priorização dessas não exista de fato.

Interessante observar que assim como os métodos Promethee II e Electre II, os métodos MCDM WSM e WPM também convergiram para os mesmo resultados porém, apenas no primeiro e segundo lugar. Portanto, o grupo 12 ficou em primeiro lugar e o grupo 48 em segundo. No WSM o grupo 01 ficou em terceiro e grupo 01 em quarto, já no WPM foi exatamente ao contrário. E, por último no WSM o grupo 11 ficou em quinto e no WPM foi o grupo 118. Este resultado foi surpreendente pelo fato de apenas um grupo (01) ter sido categorizado como um dos melhores resultados considerando o índice investimento na manutenção, isto é, os métodos MCDM WSM e WPM realizaram a priorização dando mais ênfase aos índices de orçamento e tempo em vez do índice investimento na manutenção.

Simulação II

A simulação II foi realizada utilizando tanto o processo SMIPP como o *framework* SMPF. Todas as etapas são descritas em detalhes nesta subseção.

Processo SMIPP:

Na Etapa 1 - Identificar ativos, sistemas e componentes de interesse, do processo SMIPP, o sistema transporte de cavaco do ativo B foi selecionado com seus respectivos componentes, são eles, correia transportadora 01, 02, 03, moega md/35 e peneira de disco.

Já na Etapa 2 - Coletar e gerenciar os dados dos sistemas e componentes dos ativos, as informações dos sistemas e componentes bem como das atividades de manutenção foram adquiridas através da base de dados. Assim, a Tabela 65 lista as atividades de manutenção, do sistema transporte de cavaco, que serão agrupadas.

Tabela 65 – Atividades de manutenção da simulação II

Atividade de manutenção
Remover redutor para revisão da correia transportadora 01
Usinar polia da correia transportadora 01
Ajustar tambor de esticamento da correia transportadora 01
Trocar rolete de impacto da correia transportadora 01
Realizar reparo do rolete de impacto da correia transportadora 01
Trocar rolete de retorno da correia transportadora 01
Realizar reparo do rolete de retorno da correia transportadora 01

Trocar rolete de autoalinhamento de retorno da correia transportadora 01
Realizar reparo do rolete de autoalinhamento de retorno da correia transportadora 01m
Trocar rolete de autoalinhamento de carga da correia transportadora 01
Realizar reparo do rolete de autoalinhamento de carga da correia transportadora 01
Trocar rolete de transição da correia transportadora 01
Realizar reparo do rolete de transição da correia transportadora 01
Verificar conjunto de acionamento da da correia transportadora 01
Realizar reparo do de conjunto de acionamento da correia transportadora 01
Substituição de conjunto de acionamento da correia transportadora 01
Ajustar tambor de retorno da correia transportadora 01
Limpar o chute de descarga da correia transportadora 01
Limpar as guias laterias da correia transportadora 01
Realizar reparo do limpador da correia transportadora 01
Trocar correia transportadora 01
Remover redutor para revisão da correia transportadora 02
Usinar polia da correia transportadora 02
Ajustar tambor de esticamento da correia transportadora 02
Trocar rolete de impacto da correia transportadora 02
Realizar reparo do rolete de impacto da correia transportadora 02
Trocar rolete de retorno da correia transportadora 02
Realizar reparo do rolete de retorno da correia transportadora 02
Trocar rolete de autoalinhamento de retorno da correia transportadora 02
Realizar reparo do rolete de autoalinhamento de retorno da correia transportadora 02
Trocar rolete de autoalinhamento de carga da correia transportadora 02
Realizar reparo do rolete de autoalinhamento de carga da correia transportadora 02
Trocar rolete de transição da correia transportadora 02
Realizar reparo do rolete de transição da correia transportadora 02
Verificar conjunto de acionamento da da correia transportadora 02
Realizar reparo do de conjunto de acionamento da correia transportadora 02
Substituição de conjunto de acionamento da correia transportadora 02

Ajustar tambor de retorno da correia transportadora 02
Limpar o chute de descarga da correia transportadora 02
Limpar as guias laterias da correia transportadora 02
Realizar reparo do limpador da correia transportadora 02
Trocar correia transportadora 02
Remover redutor para revisão da correia transportadora 03
Usinar polia da correia transportadora 03
Ajustar tambor de esticamento da correia transportadora 03
Trocar rolete de impacto da correia transportadora 03
Realizar reparo do rolete de impacto da correia transportadora 03
Trocar rolete de retorno da correia transportadora 03
Realizar reparo do rolete de retorno da correia transportadora 03
Trocar rolete de autoalinhamento de retorno da correia transportadora 03
Realizar reparo do rolete de autoalinhamento de retorno da correia transportadora 03
Trocar rolete de autoalinhamento de carga da correia transportadora 03
Realizar reparo do rolete de autoalinhamento de carga da correia transportadora 03
Trocar rolete de transição da correia transportadora 03
Realizar reparo do rolete de transição da correia transportadora 03
Verificar conjunto de acionamento da da correia transportadora 03
Realizar reparo do de conjunto de acionamento da correia transportadora 03
Substituição de conjunto de acionamento da correia transportadora 03
Ajustar tambor de retorno da correia transportadora 03
Limpar o chute de descarga da correia transportadora 03
Limpar as guias laterias da correia transportadora 03
Realizar reparo do do Limpador da correia transportadora 03
Trocar correia transportadora 03
Trocar calha de saída da moega para correia
Verificar rosca dosadora da moega
Substituir calha da rosca transportadora de cavaco
Substituir contactor da moega md/35

Realizar reparo da chapa de aço da moega
Pintura anti-ferrugem da moega
Realizar reparo do suporte da moega
Trocar suporte da moega
Trocar moega
Trocar conexões da peneira de discos
Substituir rolamento
Substituir disco
Realizar reparo no disco
Substituir eixo
Retificar eixo
Substituir motor
Retificar motor
Substituir rolamento do motor
Realizar reparo na alimentação de força do motor
Realizar manutenção no controle do motor
Trocar peneira de discos

Fonte: A autora

Mais adiante na Etapa 3 - Estabelecer decisões estratégicas, o cenário, valores utilizados nos custos, parâmetros e dados estratégicos foram todos previamente descritos na subseção 5.2, Concepção das simulações, pois, eles são utilizados em todas as simulações.

Na sequência na Etapa 4 - Analisar dependência econômica, na tarefa, Agrupar as atividades de manutenção, são calculadas métricas para analisar os agrupamentos. Através da Tabela 66 é possível visualizar os valores obtidos pelas métricas bem como, os máximos produzidos.

Tabela 66 – Métricas obtidas na simulação II

Métrica	Valor máximo obtido	Valor obtido
Média do método <i>Elbow</i>	15	4
Média do índice de Calinski-Harabasz	220	184.2131
Média do coeficiente de Silhueta	0.8	0.7435

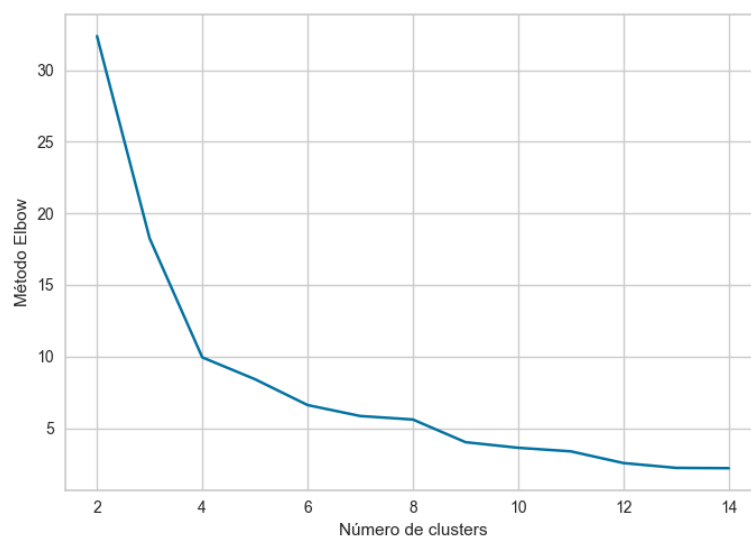
Média do índice de Davies-Bouldin	0.75	0.3878
Média do índice de S_Dbw	1.2	0.4618

Fonte: A autora

Conforme apresentado na Tabela 66, os valores obtidos pelas métricas correspondem a resultados positivos tendo em vista que, no método *Elbow*, índice de Davies-Bouldin, índice de S_Dbw, em que o valor desejado é o menor possível, os valores das médias das 30 execuções foram 4, 0.3878 e 0.4618 e os valores máximos foram 15, 0.75 e 1.2, respectivamente. Da mesma forma ocorreu com o índice de Calinski-Harabasz e o coeficiente de Silhueta no qual o valor desejado é o maior possível e os valores das médias das 30 execuções foram 184.2131 e 0.7435 e os valores máximos foram 220 e 0.8, respectivamente.

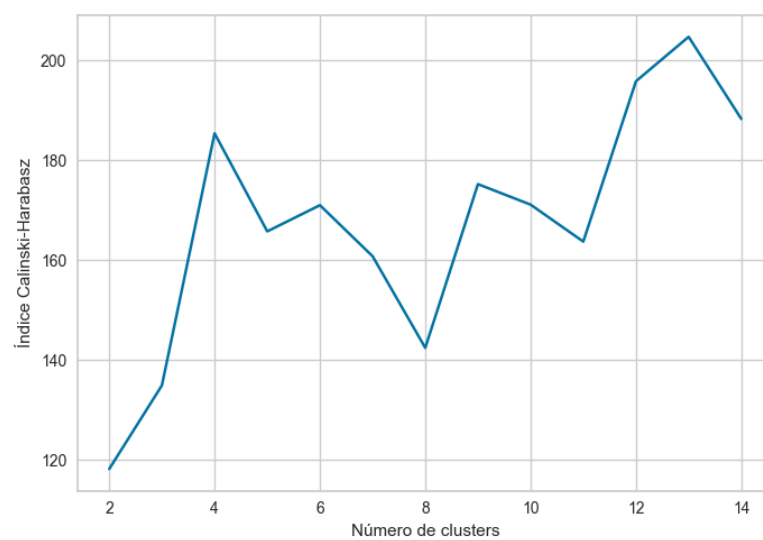
As Figuras 66, 67, 68, 69 e 70 apresentam no eixo y o valor obtido pelas métricas listadas na Tabela 66 e no eixo x o número de *clusters* indicado para formação do agrupamento de atividades de manutenção.

Figura 66 – Média do método *Elbow* da simulação II



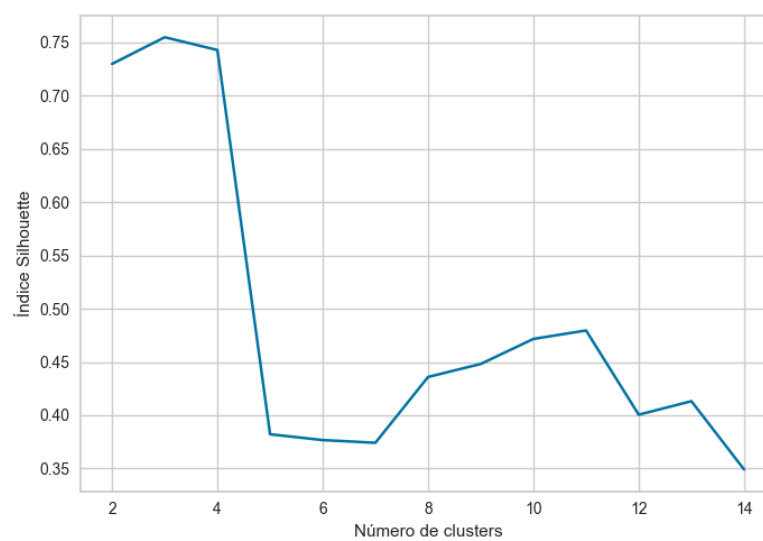
Fonte: A autora

Figura 67 – Média do índice de Calinski-Harabasz da simulação II



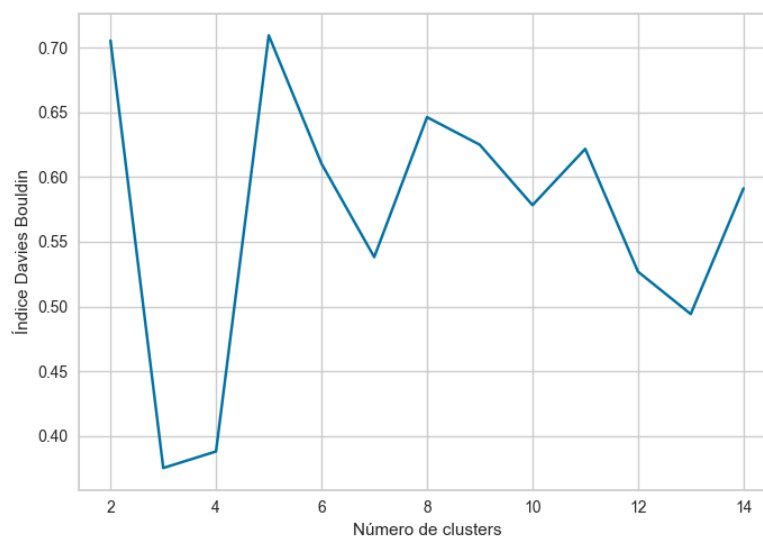
Fonte: A autora

Figura 68 – Média do coeficiente de Silhueta da simulação II



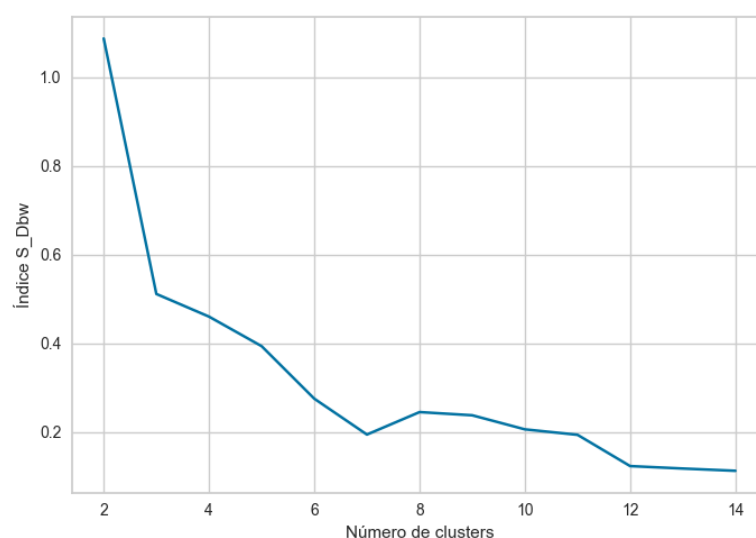
Fonte: A autora

Figura 69 – Média do índice de Davies-Bouldin da simulação II



Fonte: A autora

Figura 70 – Média do índice de S_Dbw da simulação II



Fonte: A autora

Ao analisar as figuras anteriores, verifica-se que, em geral, as métricas indicaram a geração de três a quatro *clusters* pois, no método *Elbow* é possível visualizar claramente que a quebra do cotovelo ocorre no número de *clusters* igual a quatro. Já no índice de Calinski-Harabasz o maior valor é obtido primeiramente com treze *clusters* e, em seguida com quatro. Por outro lado no coeficiente de Silhueta o maior valor é obtido primeiramente com três *clusters* e, em seguida com quatro. De forma semelhante ocorre no índice de Davies-Bouldin no qual, o menor valor é obtido primeiramente com três *clusters* e, em seguida com quatro. E, por fim, no índice de S_Dbw o menor valor é obtido quatorze *clusters* porém, do segundo até o quarto *cluster* ocorre um declínio exponencial na curva e,

a partir de três a curva começa a ficar menos acentuada demonstrando uma estabilização. Assim, diante desses fatores, optou-se pela geração de quatro grupos de atividades de manutenção. Importante mencionar que esses grupos são utilizados como entrada para a população inicial no algoritmo de otimização do subprocesso, Analisar a dependência econômica das atividades de manutenção agrupadas.

Ainda na Etapa 4 - Analisar dependência econômica, no subprocesso, Analisar dependência econômica das atividades de manutenção individualmente, é calculado o custo de executar as atividades de manutenção separadamente e o valor obtido foi 6.777e+04. Mais adiante esta mesma etapa, no subprocesso, Analisar a dependência econômica das atividades de manutenção agrupadas, foram calculados os custos de executar as atividades de manutenção reunidas em determinadas estruturas de agrupamento. Esses custos consideraram uma análise experimental de forma que foram calculados objetivando verificar o menor custo agrupado quando este atingisse um valor menor que 1, 2, 3, 4 e 5% do custo individual, conforme previamente descritos na subseção 5.2, Configurações. A Tabela 67 apresenta os valores obtidos da média das 30 execuções do *best fitness* para os custos agrupados calculados.

Tabela 67 – Valores dos custos individuais menos x% e média dos *best fitness* da simulação II

Custo agrupado	
Custo individual - x%	Média <i>best fitness</i>
1% (6.70876E+04)	6.448e+04
2% (6.64099E+04)	6.443e+04
3% (6.57323E+04)	6.445e+04
4% (6.50546E+04)	6.439e+04
5% (6.43770E+04)	6.387e+04

Fonte: A autora

Assim, de acordo com os resultados produzidos pela média do *best fitness* é possível observar que o menor valor obtido, portanto o melhor resultado, foi o custo agrupado que foi calculado considerando o custo individual - 5% com 6.387e+04. Em seguida estão o custo individual - 4% e 2% com 6.439e+04 e 6.443e+04, respectivamente. E, por fim, estão o custo individual - 3% e 1% com 6.445e+04 e 6.448e+04, nesta ordem.

Esse resultado já era esperado pelo fato do custo individual - 5% possuir um maior desconto em relação ao custo individual. No que diz respeito a média do *best fitness* com pior resultado, ou seja, maior valor, este foi obtido com o custo individual - 1%. Isso também já era esperado tendo em vista que este foi o custo com menor redução do valor do custo individual.

Em seguida na Etapa 5 - Calcular os custos das dimensões de decisão, as médias dos custo da dimensão produção, recurso e risco antes e depois da manutenção das 30 execuções são calculadas considerando o conjunto de atividades de manutenção produzidos tanto, 1) na tarefa, Agrupar as atividades de manutenção como também, 2) no subprocesso, Analisar a dependência econômica das atividades de manutenção agrupadas. Apesar da estrutura de agrupamento ser um artefato de saída apenas do subprocesso, Analisar dependência econômica, optou-se por também examinar o agrupamento gerado na clusterização, sobre a ótica das métricas anteriormente citadas, para fins de comparação. Os resultados obtidos podem ser visualizados na Tabela 68.

Tabela 68 – Média dos custos das dimensões na simulação II com o processo SMIPP

Grupo	Média ODC	Média ReDC	Média RDC_{BM}	Média RDC_{AM}
Agrupar as atividades de manutenção				
Grupo 01	2.597E+06	1.066E+08	4.468E+07	6.262E+06
Grupo 02	2.218E+06	1.074E+08	4.500E+07	6.307E+06
Grupo 03	2.379E+06	1.071E+08	4.482E+07	6.282E+06
Grupo 04	2.169E+06	1.077E+08	4.520E+07	6.334E+06
Analisar dependência econômica agrupada (custo individual - 1%)				
Grupo 01	2.854E+06	1.066E+08	4.625E+07	6.435E+06
Grupo 02	2.672E+06	1.377E+07	6.212E+06	8.621E+05
Grupo 03	2.179E+06	1.081E+08	4.698E+07	6.533E+06
Grupo 04	2.683E+06	1.077E+08	4.682E+07	6.511E+06
Analisar dependência econômica agrupada (custo individual - 2%)				
Grupo 01	2.452E+06	1.066E+08	4.569E+07	6.396E+06
Grupo 02	2.613E+06	1.377E+07	6.212E+06	8.621E+05
Grupo 03	2.785E+06	1.081E+08	4.641E+07	6.494E+06
Grupo 04	2.159E+06	2.340E+08	1.056E+08	1.465E+07
Analisar dependência econômica agrupada (custo individual - 3%)				
Grupo 01	2.401E+06	1.066E+08	4.555E+07	6.368E+06
Grupo 02	2.853E+06	1.377E+07	6.212E+06	8.621E+05
Grupo 03	2.774E+06	1.080E+08	4.615E+07	6.454E+06
Grupo 04	2.961E+06	2.340E+08	4.598E+07	6.432E+06
Analisar dependência econômica agrupada (custo individual - 4%)				

Grupo 01	2.526E+06	1.066E+08	4.557E+07	6.373E+06
Grupo 02	2.230E+06	1.073E+08	4.595E+07	6.423E+06
Grupo 03	2.119E+06	1.081E+08	4.628E+07	6.470E+06
Grupo 04	2.483E+06	2.340E+08	1.056E+08	1.465E+07
Analisar dependência econômica agrupada (custo individual - 5%)				
Grupo 01	2.364E+06	1.066E+08	4.594E+07	6.457E+06
Grupo 02	2.224E+06	1.072E+08	4.632E+07	6.507E+06
Grupo 03	2.177E+06	1.080E+08	4.666E+07	6.555E+06
Grupo 04	2.356E+06	1.077E+08	4.652E+07	6.536E+06

Fonte: A autora

A Tabela 68 exhibe os resultados divididos em seis categorias, cada uma com quatro grupos de atividades de manutenção (Grupo 01, 02, 03 e 04) e as médias das 30 execuções das dimensões produção, recurso, risco antes e depois da manutenção. A Tabela 119 do Apêndice K lista as atividades de manutenção de compõem os três grupos identificados (Grupo 01, 02, 03 e 04).

Os resultados obtidos mostram que os grupos do custo individual 5% apresentaram melhor desempenho com a média da dimensão produção 2.364E+06, 2.224E+06, 2.177E+06 e 2.356E+06 para os grupos 01, 02, 03 e 04, respectivamente. Importante observar que esse resultado é muito semelhante aos dos grupos da tarefa, Agrupar as atividades de manutenção. Acredita-se que isso tenha ocorrido pelo fato das estruturas de agrupamento formadas no contexto do custo individual 5% não terem apresentado muita variabilidade quando comparados aos grupos da população inicial.

No que diz respeito ao pior resultado, ou seja, maior valor, este foi obtido pelos grupos do custo individual 3%. Esse resultado foi uma surpresa pois, esperava-se que o maior valor obtido fosse o custo individual - 1%. Acredita-se que esse resultado foi obtido pelo fato do algoritmo de otimização ter demorado mais, quando comparado ao tempo de execução dos outros custos, realizando diversas combinações diferentes de arranjos das estruturas de agrupamentos e portanto, identificando a de menor valor.

Posteriormente na Etapa 6 - Calcular os índices, as médias dos índices investimento na manutenção, orçamento e tempo, foram calculados de forma semelhante as dimensões, ou seja, considerando os dois grupos de atividades de manutenção gerados no processo SMIPP. A Tabela 69 apresenta os resultados obtidos.

Tabela 69 – Média dos índices gerados na simulação II com o processo SMIPP

Grupo	Média do MII	Média do BI	Média do TI
-------	--------------	-------------	-------------

Agrupar as atividades de manutenção			
Grupo 01	2.913E-01	2.249E+03	1.244E-01
Grupo 02	2.906E-01	2.264E+03	1.246E-01
Grupo 03	2.898E-01	2.258E+03	1.229E-01
Grupo 04	2.921E-01	2.270E+03	1.235E-01
Analisar dependência econômica agrupada (custo individual - 1%)			
Grupo 01	3.413E-01	2.249E+03	1.244E-01
Grupo 02	3.385E-01	2.903E+05	9.804E+01
Grupo 03	3.437E-01	2.277E+03	1.252E-01
Grupo 04	3.433E-01	2.271E+03	1.235E-01
Analisar dependência econômica agrupada (custo individual - 2%)			
Grupo 01	3.233E-01	2.249E+03	1.244E-01
Grupo 02	3.259E-01	2.261E+03	1.250E-01
Grupo 03	3.254E-01	2.277E+03	1.252E-01
Grupo 04	3.249E-01	2.271E+03	1.235E-01
Analisar dependência econômica agrupada (custo individual - 3%)			
Grupo 01	3.318E-01	2.249E+03	1.244E-01
Grupo 02	3.315E-01	2.261E+03	1.250E-01
Grupo 03	3.310E-01	2.276E+03	1.252E-01
Grupo 04	3.306E-01	2.270E+03	1.236E-01
Analisar dependência econômica agrupada (custo individual - 4%)			
Grupo 01	3.295E-01	2.250E+03	1.244E-01
Grupo 02	3.319E-01	2.262E+03	1.250E-01
Grupo 03	3.315E-01	2.276E+03	1.252E-01
Grupo 04	3.311E-01	2.270E+03	1.236E-01
Analisar dependência econômica agrupada (custo individual - 5%)			
Grupo 01	3.404E-01	2.250E+03	1.244E-01
Grupo 02	3.429E-01	2.261E+03	1.248E-01
Grupo 03	3.425E-01	2.275E+03	1.250E-01
Grupo 04	3.422E-01	2.270E+03	1.236E-01

Assim como a Tabela 68, a Tabela 69 também exibe os resultados divididos em seis categorias, cada uma com quatro grupos de atividades de manutenção (Grupo 01, 02, 03 e 04). Porém, nesta tabela são mostradas as médias das 30 execuções dos índices investimento na manutenção, orçamento e tempo.

Os resultados obtidos mostram que os grupos do custo individual 5% apresentaram melhor desempenho com a média do MII 3.404E-01, 3.429E-01, 3.425E-01 e 3.422E-01, a média do BI 2.250E+03, 2.261E+03, 2.275E+03 e 2.270E+03 e por fim, a média do TI 1.244E-01, 1.248E-01, 1.250E-01 e 1.236E-01 para os grupos 01, 02, 03 e 04, respectivamente. Esse resultado já era esperado e acredita-se que ele ocorreu devido à média do *best fitness* e da dimensão produção terem sido bastante positivas quando comparadas aos outros custos obtidos.

No que diz respeito ao pior resultado, este foi obtido pelos grupos da tarefa, Agrupar as atividades de manutenção, com a média do MII 2.913E-01, 2.906E-01, 2.898E-01 e 2.921E-01, a média do BI 2.249E+03, 2.264E+03, 2.258E+03 e 2.270E+03 e por fim, a média do TI 1.244E-01, 1.246E-01, 1.229E-01 e 1.235E-01 para os grupos 01, 02, 03 e 04, respectivamente.

Esse resultado já era esperado pois, os grupos desta etapa do processo ainda não passaram pela Etapa 4 - Analisar dependência econômica portanto, o algoritmo de otimização ainda não realizou as diversas combinações diferentes de arranjos das estruturas de agrupamentos para identificar a de menores valores para os índices.

Mais adiante na Etapa 7 - Executar a priorização e ordenar os resultados, a matriz de critérios é criada. Essa matriz é composta pelos índices investimento na manutenção, orçamento e tempo. Os valores atribuídos foram baseados no trabalho de Abastante et al. (2019). A Tabela 70 mostra a matriz com os valores dos seus respectivos critérios.

Tabela 70 – Matriz de critérios da simulação II

	TI	BI	MII
TI	1	3	0.2
BI	0.333	1	0.142
MII	5	7	1

Fonte: A autora

Por meio da Tabela 70 é possível visualizar que MII possui importância moderada e forte em relação a TI e BI respectivamente. E TI possui importância baixa em relação a BI.

Continuando com a Etapa 7 - Executar a priorização e ordenar os resultados, a matriz de critérios criada anteriormente será fuzzificada para realização dos cálculos com os números *fuzzy*. A Tabela 71 exibe a matriz com os valores dos seus respectivos critérios fuzzificados.

Tabela 71 – Matriz de critérios fuzzificada da simulação II

	TI	BI	MII
TI	[1, 1, 3]	[1, 3, 5]	[0.142, 0.2, 0.333]
BI	[0.2, 0.333, 1]	[1, 1, 3]	[0.111, 0.142, 0.2]
MII	[3, 5, 7]	[5, 7, 9]	[1, 1, 3]

Fonte: A autora

Seguindo na Etapa 7 - Executar a priorização e ordenar os resultados, a matriz de alternativas é criada. Essa matriz é composta pelos grupos das atividades de manutenção identificados nas etapas anteriores do processo SMIPP. Os valores atribuídos foram baseados no trabalho de Abastante et al. (2019). A Tabela 72 mostra a matriz com os valores das suas respectivas alternativas.

Tabela 72 – Matriz de alternativas da simulação II

	Grupo 01	Grupo 02	Grupo 03	Grupo 04
Grupo 01	1	0.142	0.333	3
Grupo 02	7	1	5	7
Grupo 03	3	0.2	1	5
Grupo 04	0.333	0.142	0.2	1

Fonte: A autora

Assim, como na simulação I, optou-se por construir apenas uma matriz de alternativas para todos os três critérios pois, caso fosse construída uma matriz de alternativas para cada critério, ao todo seriam nove matriz de alternativas para calcular o vetor de prioridade, auto valor, índice de consistência, razão de consistência e peso das alternativas, ou seja, iria aumentar substancialmente o quantitativo de matrizes e a complexidade da simulação.

Analisando a Tabela 72 é possível observar que o Grupo 02 possui importância forte e moderada em relação aos Grupos 01, 03 e 04 respectivamente. E o Grupo 03 possui importância baixa e moderada em relação ao Grupo 01 e 04 respectivamente. E, o Grupo 01 possui importância baixa em relação ao Grupo 04.

Progredindo com a Etapa 7 - Executar a priorização e ordenar os resultados, a matriz de alternativas criada anteriormente será fuzzificada para realização dos cálculos com os números *fuzzy*. A Tabela 73 exibe a matriz com os valores das suas respectivas alternativas fuzzificadas.

Tabela 73 – Matriz de alternativas fuzzificada da simulação II

	Grupo 01	Grupo 02	Grupo 03	Grupo 04
Grupo 01	[1, 1, 3]	[0.111, 0.142, 0.2]	[0.2, 0.333, 1]	[1, 3, 5]
Grupo 02	[5, 7, 9]	[1, 1, 3]	[3, 5, 7]	[5, 7, 9]
Grupo 03	[1, 3, 5]	[0.142, 0.2, 0.333]	[1, 1, 3]	[3, 5, 7]
Grupo 04	[0.2, 0.333, 1]	[0.111, 0.142, 0.2]	[0.142, 0.2, 0.333]	[1, 1, 3]

Fonte: A autora

Após crias as matrizes de critérios e alternativas é preciso verificar a consistência dessas através do cálculo do vetor de prioridade, auto valor, índice e razão de consistência a fim de investigar se este último é menor que 0.10. A Tabela 74 exibe os valores calculados.

Tabela 74 – Valores de consistência da matriz de critérios e alternativas da simulação II

Vetor de prioridade	Auto valor	Índice de consistência	Razão de consistência
Matriz de critérios			
[0.193, 0.083, 0.724]	3.062	0.031	0.053
Matriz de alternativas			
[0.106, 0.624, 0.216, 0.054]	4.240	0.08	0.089

Fonte: A autora

Por intermédio da Tabela 74 é possível observar que tanto a matriz de critérios como a de alternativas estão consistentes devido aos valores obtidos nos vetor de prioridade, auto valor, índice de consistência e, principalmente, razão de consistência com 0.053 (matriz de critérios) e 0.089 (matriz de alternativas).

Dando continuidade com a Etapa 7 - Executar a priorização e ordenar os resultados, os pesos das matrizes de critérios e alternativas é calculado de acordo com a média geométrica e com a medida sintética, por meio dos algoritmos de Buckley (1985) e Chang (1996), nesta ordem. A Tabela 75 apresenta os pesos das matrizes de critérios e alternativas dos índices de investimento na manutenção, tempo e orçamento para cada um dos algoritmo *fuzzy*.

Tabela 75 – Pesos da matriz de critérios e alternativas da simulação II

Pesos dos critérios			
MCDM	Peso MII	Peso TI	Peso BI
FAHP (Geometric mean Method)	0.197	0.095	0.708
FAHP (Fuzzy extent analysis)	0.293	0.047	0.660

Pesos das alternativas				
MCDM	Grupo 01	Grupo 02	Grupo 03	Grupo 04
FAHP (Geometric mean Method)	0.112	0.613	0.217	0.058
FAHP (Fuzzy extent analysis)	0.268	0.382	0.223	0.128

Fonte: A autora

Observando a Tabela 75, considerando os critérios, é possível verificar que os pesos obtidos pela média geométrica e medida sintética são divergentes em si tratando do MII e TI pelo fato do primeiro apresentar 0.197 e 0.293 e o segundo 0.095 e 0.047. Em contrapartida, no BI os valores são mais próximos, 0.708 e 0.660, respectivamente.

No que diz respeito ao peso das alternativas, ocorreu a mesma situação, ou seja, a média geométrica e medida sintética geraram valores divergentes ao observar os Grupos 01, 02 e 04 sendo o primeiro com 0.112 e 0.268, o segundo com 0.613 e 0.382 e o quarto com 0.058 e 128. Por outro lado, no Grupo 03 os valores são bem semelhantes com 0.217 e 0.223, nesta ordem.

E, por fim, a Etapa 7 - Executar a priorização e ordenar os resultados gera o *ranking* das alternativas priorizadas e ordenadas. A Tabela 76 mostra a posição de cada alternativa.

Tabela 76 – Ranking das alternativas da simulação II com o processo SMIPP

MCDM	Ranking
FAHP (Geometric mean Method)	1º Grupo 02
	2º Grupo 03
	3º Grupo 01
	4º Grupo 04
FAHP (Fuzzy extent analysis)	1º Grupo 02
	2º Grupo 01
	3º Grupo 03
	4º Grupo 04

Fonte: A autora

Através da Tabela 76 é possível observar que os dois algoritmos *fuzzy* convergiram para o mesmo resultado em relação ao primeiro lugar (Grupo 02) e ao último (Grupo 04) porém, o segundo e terceiro lugar tiveram posições diferentes. Esse resultado já era esperado devido, 1) a média dos índices MII, BI e TI da análise da dependência econômica das atividades de manutenção agrupadas ter identificado a estrutura de agrupamento do custo individual - 5% como melhor resultado e, 2) ao Grupo 02 ter recebido importância

forte e moderada quando comparado aos outros grupos, fato que influencia no peso da alternativa.

No que se refere a, divergência entre a posição dos Grupos 02 e 03 na média geométrica e medida sintética, segundo Goicoechea, Stakhiv e Li (1992) e Wang e Triantaphyllou (2014) não é raro acontecer de métodos MCDM distintos que receberem as mesmas informações sobre um determinado problema priorizarem alternativas em posições variadas dentro de um mesmo *ranking*.

Framework SMPF:

No que se refere ao *framework* SMPF Passo 1 - Identifique o sistema de interesse e seus componentes, da mesma forma como ocorreu no processo SMIPP, optou-se por escolher o sistema transporte de cavaco do ativo B juntamente com seus componentes.

Em relação ao Passo 2 - Colete e gerencie os dados dos componentes, por meio da base de dados foram adquiridas as atividades de manutenção (ver Tabela 65) e as informações dos sistemas e componentes.

Acerca do Passo 3 - Considere as decisões estratégicas da parada de manutenção, assim como no processo SMIPP esse passo também descreveu previamente na subseção 5.2, Concepção das simulações, o cenário, valores usados nos custos, parâmetros e dados estratégicos utilizados.

No que diz respeito ao Passo 4 - Calcule os custos das dimensões de decisão, foram calculados os custos da dimensão produção, recurso e risco antes e depois da manutenção para cada um dos 31 grupos gerados pela análise combinatorial sem repetição utilizada pelo *framework* SMPF para agrupar as atividades de manutenção. O produto final dos valores calculados podem ser visualizados no Apêndice G.

Por meio dos resultados gerados é possível observar que os grupos 04, 03 e 13 apresentaram os melhores resultados em se tratando dos custos dimensão produção e recurso, com 1.517E+06, 2.116E+06 e 3.633E+06 para o primeiro custo e 5.289E+07, 1.760E+08 e 2.288E+08 para o segundo custo, respectivamente. Sobre os custos das dimensões risco antes e depois da manutenção esses também apresentarem resultados positivos pois, o risco antes era 4.955E+05, 2.568E+05 e 2.450E+05 e depois ficou 5.007E+05, 3.093E+05 e 2.541E+06. Ou seja, nos grupos 04, 03 e 13 haverá um aumento do risco após a manutenção.

Esse resultado já era esperado pois, os primeiros grupos possuem um conjunto menor de atividades de manutenção quando comparados aos últimos grupos, fazendo com que os primeiros sejam mais fáceis de serem gerenciados e consequentemente necessitem de menos recursos. Apenas o índice risco que foi uma surpresa com um aumento após a manutenção, fato que precisa ser melhor investigado para entendimento.

Em contrapartida, os grupos 31, 27 e 28 mostraram os piores resultados com os custos dimensão produção e recurso, com 2.128E+07, 1.976E+07 e 1.916E+07 para o primeiro

custo e $8.729\text{E}+08$, $8.200\text{E}+08$ e $6.969\text{E}+08$ para o segundo custo, respectivamente. Apesar desses resultados, em relação aos custos das dimensões risco antes e depois da manutenção os resultados foram positivos pois, o risco antes era $4.124\text{E}+08$, $3.292\text{E}+08$ e $3.797\text{E}+08$ e depois ficou $6.433\text{E}+07$, $5.026\text{E}+07$ e $5.269\text{E}+07$. Isto é, nos grupos 31, 27 e 28 haverá uma redução no risco após a realização da manutenção.

Esse resultado também já era esperado pois, os últimos grupos possuem um conjunto muito grande de atividades de manutenção quando comparados aos primeiros grupos, fazendo com que os últimos sejam mais difíceis de serem gerenciados e consequentemente necessitem de mais recursos.

No que tange o Passo 5 - Calcule os índices da priorização, foram calculados os custos dos índices investimento na manutenção, orçamento e tempo para cada um dos 31 grupos gerados pela análise combinatorial sem repetição utilizada pelo *framework* SMPF para agrupar as atividades de manutenção. O produto final dos valores calculados podem ser visualizados no Apêndice G.

Por meio dos resultados gerados é possível observar que os grupos 18, 17 e 06 apresentaram os melhores resultados em se tratando do índice investimento na manutenção, com $3.896\text{E}-01$, $3.895\text{E}-01$ e $3.895\text{E}-01$, respectivamente. Sobre os índices orçamento e tempo os melhores resultados ficaram com os grupos 04, 05 e 01 com $31.15\text{E}+03$, $2.126\text{E}+03$ e $4.957\text{E}+03$ para o primeiro índice e $7.151\text{E}+01$, $1.940\text{E}+02$ e $2.221\text{E}+02$ para o segundo índice. No que concerne ao resultado dos melhores grupos do índice investimento na manutenção (18, 17 e 06) esse foi uma surpresa tendo em vista que nenhum deles foi classificado como os melhores resultados em relação aos custos dimensão produção e recurso. Por outro lado, o que tange ao resultado dos melhores grupos dos índices orçamento e tempo (grupos 04, 05 e 01) esse já era esperado pelo fato de um deles (04) já ter sido categorizado como os melhores resultados em relação aos custos dimensão produção e recurso.

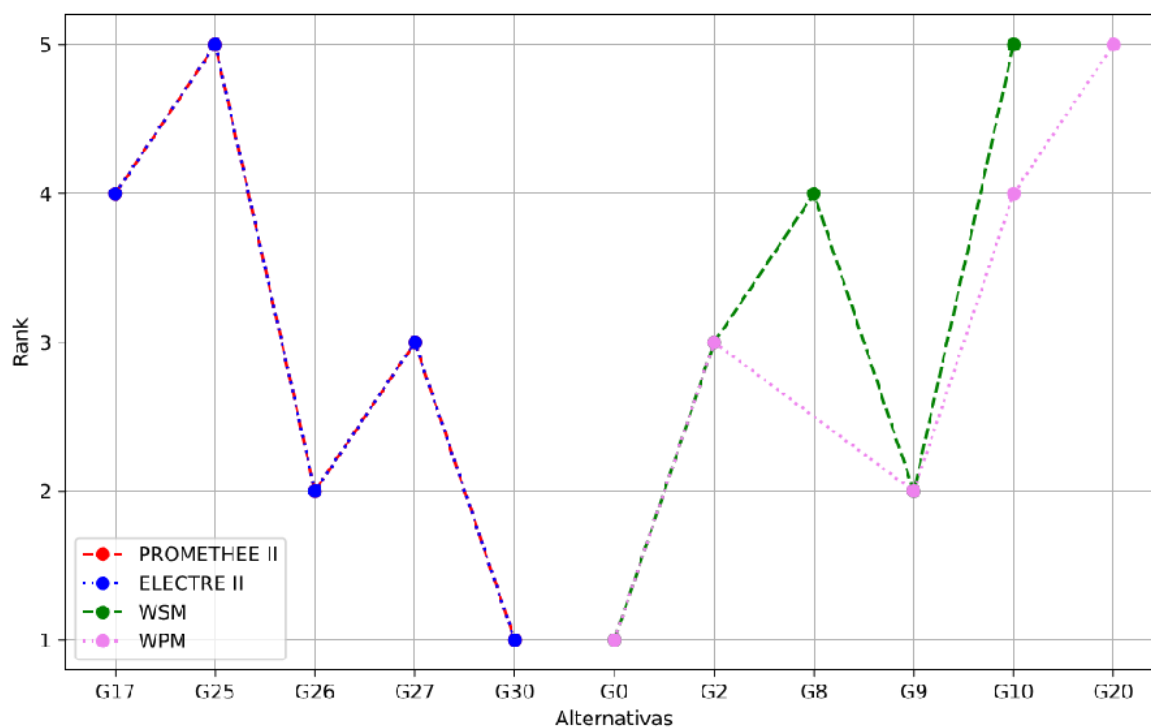
Sobre o Passo 6 - Ordene os índices da priorização, são utilizados quatro métodos MCDM (Electre II, Promethee II, WSM e WPM) além disso, o mesmo peso (0.333) foi aplicado em todos método, ou seja, não houve uma diferenciação em relação a preferência dos métodos. Infelizmente, assim como na simulação I, não foi descrito a causa do valor dos pesos ser 0.333. Ademais, para executar o método Electre II este precisa definir os valores dos limites de concordância e discordância positivo, negativo e neutro e, infelizmente esses valores não foram descritos. Sendo assim, optou-se por utilizar os valores padrões da biblioteca *pyDecision*, conforme pode ser visualizado na Tabela 63.

Assim como na simulação I, o *framework* SMPF define que os critérios da priorização são os índices investimento na manutenção, orçamento e tempo e as alternativas são os grupos de atividades da manutenção. Portanto, após a execução dos quatro métodos MCDM adotados, o *ranking* da priorização é estabelecido.

A Figura 71 apresenta graficamente os resultados produzidos pela priorização realizada

através dos métodos Promethee II, Electre II, WSM e WPM.

Figura 71 – Ranking das alternativas da simulação II com o *framework* SMPF



Fonte: A autora

Por meio da Figura 71 é possível visualizar que as linhas azul e vermelha relativas aos métodos Promethee II e Electre II estão exatamente sobrepostas, ou seja, as mesmas posições foram ocupadas pelos mesmos grupos. Por outro lado, os métodos MCDM WSM e WPM convergiram no que diz respeito ao primeiro, segundo e terceiro lugar. Já o quinto lugar no WSM é o quarto WPM. E, por fim, o quarto lugar no WSM é diferente do quinto no WPM.

A Tabela 77 apresenta em detalhes os grupos de atividades de manutenção com dos seus respectivos índices que ocuparam as cinco primeiras posições da priorização.

Tabela 77 – Ranking das alternativas da simulação II com o *framework* SMPF

MCDM	Ranking	MII	BI	TI
PROMETHEE II	1º Grupo 31	3.893e-01	1.840e+04	9.582e+02
	2º Grupo 27	3.894e-01	1.729e+04	8.866e+02
	3º Grupo 28	3.895e-01	1.469e+04	8.495e+02
	4º Grupo 18	3.896e-01	1.358e+04	7.78e+02
	5º Grupo 26	3.893e-01	1.628e+04	7.642e+02
	1º Grupo 31	3.893e-01	1.840e+04	9.582e+02

ELECTRE II

	2º Grupo 27	3.894e-01	1.729e+04	8.866e+02
	3º Grupo 28	3.895e-01	1.469e+04	8.495e+02
	4º Grupo 18	3.896e-01	1.358e+04	7.78e+02
	5º Grupo 26	3.893e-01	1.628e+04	7.642e+02
WSM	1º Grupo 01	1.797e-02	4.957e+03	2.221e+02
	2º Grupo 10	3.713e-01	1.020e+04	4.705e+02
	3º Grupo 03	2.953e-04	3.709e+03	1.087e+02
	4º Grupo 09	1.796e-02	7.083e+03	4.161e+02
	5º Grupo 11	3.715e-01	7.609e+03	4.334e+02
WPM	1º Grupo 01	1.797e-02	4.957e+03	2.221e+02
	2º Grupo 10	3.713e-01	1.020e+04	4.705e+02
	3º Grupo 03	2.953e-04	3.709e+03	1.087e+02
	4º Grupo 11	3.715e-01	7.609e+03	4.334e+02
	5º Grupo 21	1.787e-02	8.199e+03	4.877e+02

Fonte: A autora

A Tabela 77 mostra que os métodos MCDM Promethee II e Electre II tiveram exatamente os mesmos resultados, isto é, as mesmas posições foram ocupadas pelos mesmos grupos. Assim, o grupo 31 ficou em primeiro lugar, o grupo 27 em segundo, grupo 28 em terceiro, grupo 18 em quarto e grupo 26 em quinto. Este resultado foi surpreendente pelo apenas um grupo (01) ter sido classificado como um dos melhores resultados em se tratando do índice investimento na manutenção embora, os índices orçamento e tempo não tenham sido tão positivos. Apesar que analisando minuciosamente verifica-se o grupo 31, que ocupa o primeiro lugar, reúne todas as atividades de manutenção, ou seja, ele engloba todo o conjunto de atividades coletadas, fazendo com que a priorização dessas não exista de fato.

Interessante observar que assim como os métodos Promethee II e Electre II, os métodos MCDM WSM e WPM também convergiram para os mesmo resultados porém, apenas no primeiro, segundo e terceiro lugar. Portanto, o grupo 01 ficou em primeiro lugar, o grupo 10 em segundo e o grupo 03 em terceiro lugar. No WSM o grupo 09 ficou em quinto, já no WPM esse grupo ficou em quarto. E, por último no WSM o grupo 09 ficou em quarto e no WPM foi o grupo 21. Este resultado foi surpreendente pelo fato de apenas nenhum grupo ter sido categorizado como um dos melhores resultados considerando o índice investimento na manutenção, isto é, os métodos MCDM WSM e WPM realizaram a priorização dando mais ênfase aos índices de orçamento e tempo em vez do índice investimento na manutenção.

Simulação III

A simulação III foi realizada utilizando apenas o processo SMIPP. Todas as etapas são descritas em detalhes nesta subseção.

Processo SMIPP:

Na Etapa 1 - Identificar ativos, sistemas e componentes de interesse, do processo SMIPP, o sistema balão e transporte de cavaco dos ativos A e B foram selecionados com seus respectivos componentes, são eles, linha de vapor, visor de nível da caldeira, pressostato da caldeira, válvula 01, 02, 03 e 05 de descarga de fundo e válvula principal da caldeira, do sistema balão, e correia transportadora 01, 02, 03, moega md/35 e peneira de disco do sistema transporte de cavaco.

Já na Etapa 2 - Coletar e gerenciar os dados dos sistemas e componentes dos ativos, as informações dos sistemas e componentes bem como das atividades de manutenção foram adquiridas através da base de dados. Assim, as Tabelas 51 e 65 listam as atividades de manutenção que serão agrupadas, dos sistemas balão e transporte de cavaco, respectivamente.

Mais adiante na Etapa 3 - Estabelecer decisões estratégicas, o cenário, valores utilizados nos custos, parâmetros e dados estratégicos foram todos previamente descritos na subseção 5.2, Concepção das simulações, pois, eles são utilizados em todas as simulações.

Na sequência na Etapa 4 - Analisar dependência econômica, na tarefa, Agrupar as atividades de manutenção, são calculadas métricas para analisar os agrupamentos. Através da Tabela 78 é possível visualizar os valores obtidos pelas métricas bem como, os máximos produzidos.

Tabela 78 – Métricas obtidas na simulação III

Métrica	Valor máximo obtido	Valor obtido
Média do método <i>Elbow</i>	15	3
Média do índice de Calinski-Harabasz	600	476.5547
Média do coeficiente de Silhueta	0.75	0.6844
Média do índice de Davies-Bouldin	0.75	0.4664
Média do índice de S_Dbw	0.6	0.4233

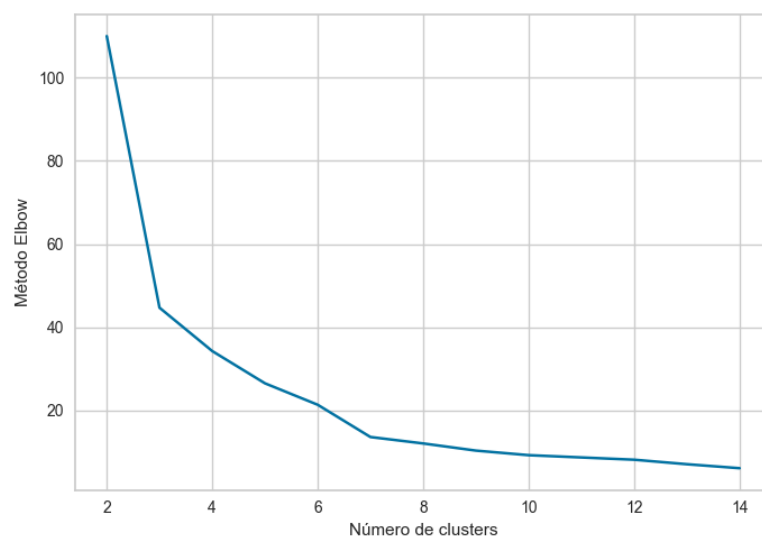
Fonte: A autora

Conforme apresentado na Tabela 78, os valores obtidos pelas métricas correspondem a resultados positivos tendo em vista que, no método *Elbow*, índice de Davies-Bouldin, índice de S_Dbw, em que o valor desejado é o menor possível, os valores das médias das

30 execuções foram 3, 0.4664 e 0.4233 e os valores máximos foram 15, 0.75 e 0.6, respectivamente. Da mesma forma ocorreu com o índice de Calinski-Harabasz e o coeficiente de Silhueta no qual o valor desejado é o maior possível e os valores das médias das 30 execuções foram 476.5547 e 0.6844 e os valores máximos foram 600 e 0.75, respectivamente.

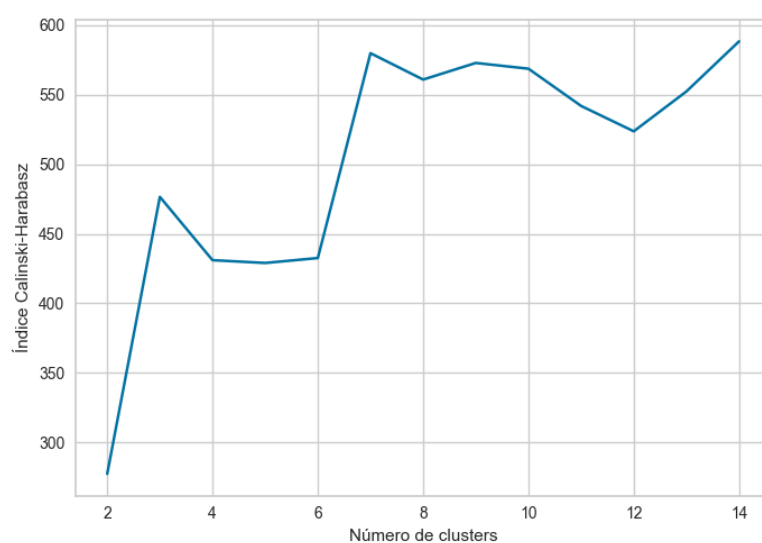
As Figuras 72, 73, 74, 75 e 76 apresentam no eixo y o valor obtido pelas métricas listadas na Tabela 78 e no eixo x o número de *clusters* indicado para formação do agrupamento de atividades de manutenção.

Figura 72 – Média do método *Elbow* da simulação III



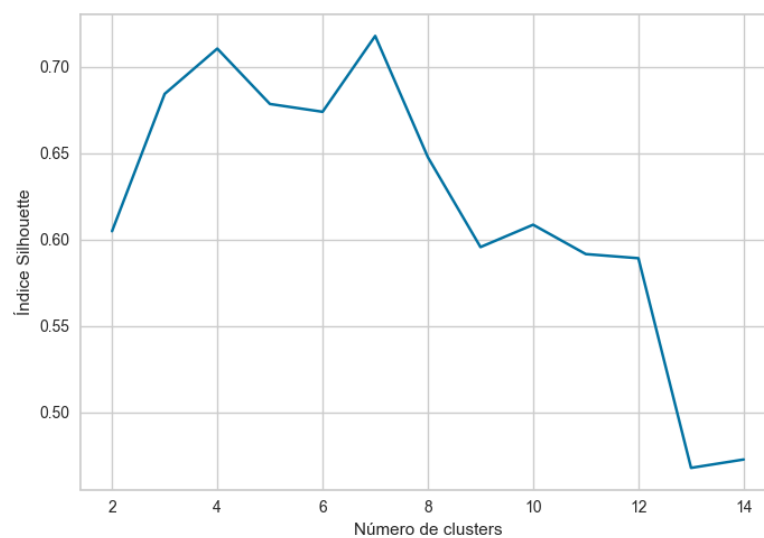
Fonte: A autora

Figura 73 – Média do índice de Calinski-Harabasz da simulação III



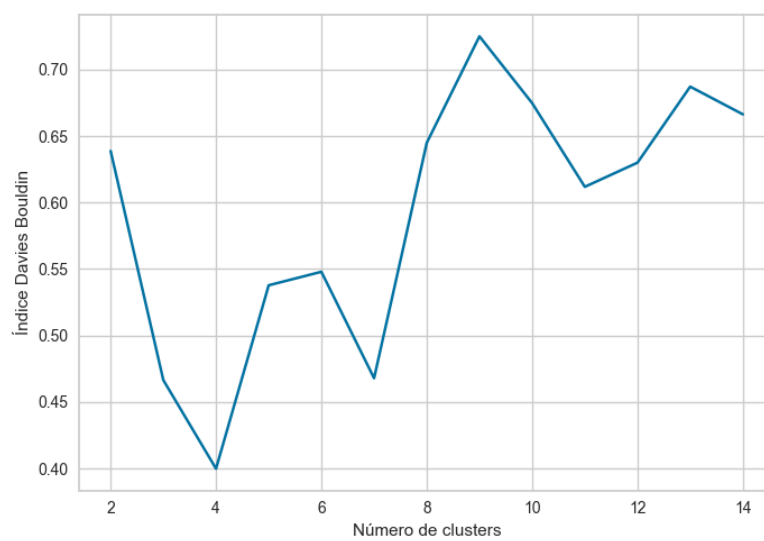
Fonte: A autora

Figura 74 – Média do coeficiente de Silhueta da simulação III



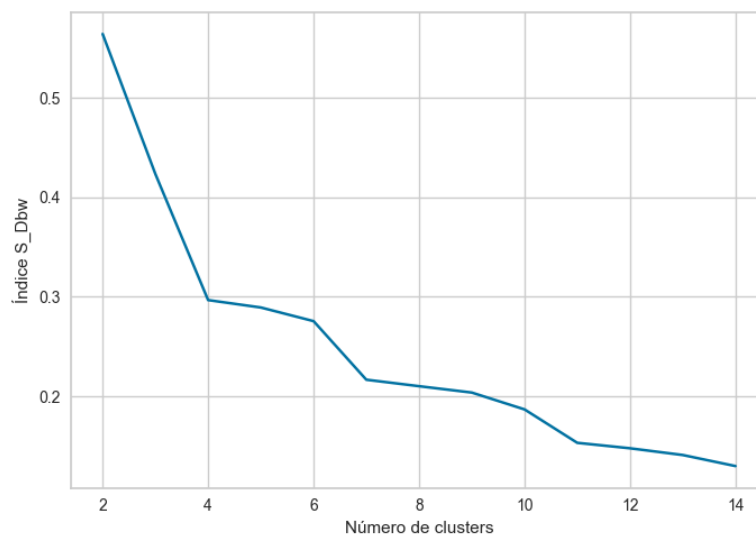
Fonte: A autora

Figura 75 – Média do índice de Davies-Bouldin da simulação III



Fonte: A autora

Figura 76 – Média do índice de S_Dbw da simulação III



Fonte: A autora

Ao analisar as figuras anteriores, verifica-se que, em geral, as métricas indicaram a geração de três a quatro *clusters*, por exemplo, no método *Elbow* é possível visualizar claramente que a quebra do cotovelo ocorre no número de *clusters* igual a três. Já no índice de Calinski-Harabasz o maior valor é obtido primeiramente com quatorze *clusters* e, posteriormente com três *clusters*. Da mesma forma ocorre no coeficiente de Silhueta no qual, o maior valor é obtido primeiramente com cinco *clusters* e, posteriormente com três. Por outro lado no índice de Davies-Bouldin, o menor valor é obtido primeiramente com quatro *clusters* e, em seguida com três. E, por fim, no índice de S_Dbw o menor valor é obtido quatorze *clusters* porém, do quarto *cluster* em diante ocorre um declínio exponencial na curva que começa a ficar menos acentuada demonstrando uma estabilização. Assim, diante desses fatores, optou-se pela geração de três grupos de atividades de manutenção. Importante mencionar que esses grupos são utilizados como entrada para a população inicial no algoritmo de otimização do subprocesso, Analisar a dependência econômica das atividades de manutenção agrupadas.

Ainda na Etapa 4 - Analisar dependência econômica, no subprocesso, Analisar dependência econômica das atividades de manutenção individualmente, é calculado o custo de executar as atividades de manutenção separadamente e o valor obtido foi 2.84509E+06. Mais adiante esta mesma etapa, no subprocesso, Analisar a dependência econômica das atividades de manutenção agrupadas, foram calculados os custos de executar as atividades de manutenção reunidas em determinadas estruturas de agrupamento. Esses custos consideraram uma análise experimental de forma que foram calculados objetivando verificar o menor custo agrupado quando este atingisse um valor menor que 1, 2, 3, 4 e 5% do custo individual, conforme previamente descritos na subseção 5.2, Configurações. A Tabela 79 apresenta os valores obtidos da média das 30 execuções do *best fitness* para os custos agrupados calculados.

Tabela 79 – Valores dos custos individuais menos x% e média dos *best fitness* da simulação III

Custo agrupado	
Custo individual - x%	Média <i>best fitness</i>
1% (2.81664E+06)	1.256E+06
2% (2.78819E+06)	1.279E+06
3% (2.75974E+06)	1.262E+06
4% (2.73129E+06)	1.302E+06
5% (2.70284E+06)	1.246E+06

Fonte: A autora

Assim, de acordo com os resultados produzidos pela média do *best fitness* é possível observar que o menor valor obtido, portanto o melhor resultado, foi o custo agrupado que foi calculado considerando o custo individual - 5% com 1.246E+06. Em seguida estão o custo individual - 1%, 3% e 2% com 1.256E+06, 1.262E+06 e 1.279E+06, respectivamente. E, por fim, está o custo individual - 4% com 1.302E+06.

Esse resultado já era esperado pelo fato do custo individual - 5% possuir um maior desconto em relação ao custo individual. No que diz respeito a média do *best fitness* com pior resultado, ou seja, maior valor, este foi obtido com o custo individual - 1%. Isso foi uma surpresa tendo em vista que esperava-se que o custo individual - 1% fosse o de pior resultado pelo fato dele ser o de menor redução do valor do custo individual.

Em seguida na Etapa 5 - Calcular os custos das dimensões de decisão, as médias dos custo da dimensão produção, recurso e risco antes e depois da manutenção das 30 execuções são calculadas considerando o conjunto de atividades de manutenção produzidos tanto, 1) na tarefa, Agrupar as atividades de manutenção como também, 2) no subprocesso, Analisar a dependência econômica das atividades de manutenção agrupadas. Apesar da estrutura de agrupamento ser um artefato de saída apenas do subprocesso, Analisar dependência econômica, optou-se por também examinar o agrupamento gerado na clus-terização, sobre a ótica das métricas anteriormente citadas, para fins de comparação. Os resultados obtidos podem ser visualizados na Tabela 80.

Tabela 80 – Custos das dimensões na simulação III com o processo SMIPP

Grupo	Média ODC	Média ReDC	Média RDC_{BM}	Média RDC_{AM}
Agrupar as atividades de manutenção				
Grupo 01	1.283E+07	3.911E+07	2.297E+07	4.239E+06

Grupo 02	1.174E+07	4,149E+08	2.253E+08	4.164E+07
Grupo 03	1.198E+07	4.676E+07	2.064E+06	3.739E+05
Analisar dependência econômica agrupada (custo individual - 1%)				
Grupo 01	1.248E+07	1.669E+08	8.680E+07	1.606E+07
Grupo 02	1.712E+07	1.682E+08	8.743E+07	1.618E+07
Grupo 03	1.541E+07	1.654E+08	8.586E+07	1.589E+07
Analisar dependência econômica agrupada (custo individual - 2%)				
Grupo 01	1.228E+07	1.066E+08	4.569E+07	6.396E+06
Grupo 02	1.271E+07	1.683E+08	8.672E+07	1.584E+07
Grupo 03	1.601E+07	1.655E+08	8.515E+07	1.555E+07
Analisar dependência econômica agrupada (custo individual - 3%)				
Grupo 01	1.504E+07	1.669E+08	8.750E+07	1.599E+07
Grupo 02	1.110E+07	1.684E+08	8.823E+07	1.612E+07
Grupo 03	1.150E+07	1.656E+08	8.665E+07	1.583E+07
Analisar dependência econômica agrupada (custo individual - 4%)				
Grupo 01	1.612E+07	1.669E+08	8.604E+07	1.579E+07
Grupo 02	1.116E+07	1.673E+08	8.614E+07	1.581E+07
Grupo 03	1.749E+07	1.656E+08	8.516E+07	1.562E+07
Analisar dependência econômica agrupada (custo individual - 5%)				
Grupo 01	1.281E+07	1.669E+08	8.684E+07	1.600E+07
Grupo 02	1.120E+07	1.683E+08	8.756E+07	1.613E+07
Grupo 03	1.131E+07	1.655E+08	8.599E+07	1.584E+07

Fonte: A autora

A Tabela 80 exibe os resultados divididos em seis categorias, cada uma com três grupos de atividades de manutenção (Grupo 01, 02 e 03) e as médias das 30 execuções das dimensões produção, recurso, risco antes e depois da manutenção. A Tabela 120 do Apêndice K lista as atividades de manutenção de compõem os três grupos identificados (Grupo 01, 02 e 03).

Os resultados obtidos mostram que os grupos do custo individual 5% apresentaram melhor desempenho com a média da dimensão produção 1.283E+07, 1.174E+07 e 1.198E+07 para os grupos 01, 02 e 03, respectivamente. Importante observar que esse resultado é semelhante aos dos grupos da tarefa, Agrupar as atividades de manutenção. Acredita-se que isso tenha ocorrido pelo fato das estruturas de agrupamento formadas no contexto do

custo individual 5% não terem apresentado muita variabilidade quando comparados aos grupos da população inicial.

No que diz respeito ao pior resultado, ou seja, maior valor, este foi obtido pelos grupos do custo individual 1%. Isso já era esperado tendo em vista que este foi o custo com menor redução do valor do custo individual.

Posteriormente na Etapa 6 - Calcular os índices, as médias dos índices investimento na manutenção, orçamento e tempo, foram calculados de forma semelhante as dimensões, ou seja, considerando os dois grupos de atividades de manutenção gerados no processo SMIPP. A Tabela 81 apresenta os resultados obtidos.

Tabela 81 – Índices gerados na simulação III com o processo SMIPP

Grupo	Média do MII	Média do BI	Média do TI
Agrupar as atividades de manutenção			
Grupo 01	3.192E-01	3.519E+03	3.198E-01
Grupo 02	3.175E-01	3.548E+03	3.200E-01
Grupo 03	3.161E-01	3.492E+03	3.189E-01
Analisar dependência econômica agrupada (custo individual - 1%)			
Grupo 01	3.546E-01	3.519E+03	3.198E-01
Grupo 02	3.533E-01	3.544E+03	3.197E-01
Grupo 03	3.524E-01	3.490E+03	3.187E-01
Analisar dependência econômica agrupada (custo individual - 2%)			
Grupo 01	3.573E-01	3.519E+03	3.198E-01
Grupo 02	3.560E-01	3.547E+03	3.200E-01
Grupo 03	3.551E-01	3.493E+03	3.189E-01
Analisar dependência econômica agrupada (custo individual - 3%)			
Grupo 01	3.743E-01	3.519E+03	3.198E-01
Grupo 02	3.732E-01	3.546E+03	3.203E-01
Grupo 03	3.724E-01	3.494E+03	3.191E-01
Analisar dependência econômica agrupada (custo individual - 4%)			
Grupo 01	3.524E-01	3.518E+03	3.198E-01
Grupo 02	3.511E-01	3.525E+03	3.204E-01
Grupo 03	3.502E-01	3.494E+03	3.192E-01
Analisar dependência econômica agrupada (custo individual - 5%)			
Grupo 01	3.656E-01	3.519E+03	3.198E-01

Grupo 02	3.645E-01	3.544E+03	3.200E-01
Grupo 03	3.638E-01	3.495E+03	3.190E-01

Fonte: A autora

Assim como a Tabela 80, a Tabela 81 também exibe os resultados divididos em seis categorias, cada uma com três grupos de atividades de manutenção (Grupo 01, 02 e 03). Porém, nesta tabela são mostradas as médias das 30 execuções dos índices investimento na manutenção, orçamento e tempo.

Os resultados obtidos mostram que os grupos do custo individual 3% apresentaram melhor desempenho com a média do MII 3.743E-01, 3.732E-01 e 3.724E-01, a média do BI 3.519E+03, 3.546E+03 e 3.494E+03 e por fim, a média do TI 3.198E-01, 3.203E-01 e 3.191E-01 para os grupos 01, 02 e 03, respectivamente. Acredita-se que esse resultado ocorreu devido à média do *best fitness* e da dimensão produção terem sido bastante positivas quando comparadas aos outros custos obtidos.

No que diz respeito ao pior resultado, este foi obtido pelos grupos da tarefa Agrupar as atividades de manutenção com a média do MII 6.099E-02, 6.097E-02 e 6.131E-02, a média do BI 5.210E+02, 5.239E+02 e 5.248E+02 e por fim, a média do TI 1.540E-01, 1.546E-01 e 1.547E-01 para os grupos 01, 02 e 03, nesta ordem.

Esse resultado já era esperado pois, os grupos desta etapa do processo ainda não passaram pela Etapa 4 - Analisar dependência econômica portanto, o algoritmo de otimização ainda não realizou as diversas combinações diferentes de arranjos das estruturas de agrupamentos para identificar a de menores valores para os índices.

Mais adiante na Etapa 7 - Executar a priorização e ordenar os resultados, a matriz de critérios é criada. Essa matriz é composta pelos índices investimento na manutenção, orçamento e tempo. Os valores atribuídos foram baseados no trabalho de Abastante et al. (2019). A Tabela 82 mostra a matriz com os valores dos seus respectivos critérios.

Tabela 82 – Matriz de critérios da simulação III

	TI	BI	MII
TI	1	3	0.142
BI	0.333	1	0.111
MII	7	9	1

Fonte: A autora

Por meio da Tabela 82 é possível visualizar que MII possui importância forte e absoluta em relação a TI e BI respectivamente. E TI possui importância baixa em relação a BI.

Continuando com a Etapa 7 - Executar a priorização e ordenar os resultados, a matriz de critérios criada anteriormente será fuzzificada para realização dos cálculos com os

números *fuzzy*. A Tabela 83 exibe a matriz com os valores dos seus respectivos critérios fuzzificados.

Tabela 83 – Matriz de critérios fuzzificada da simulação III

	TI	BI	MII
TI	[1, 1, 3]	[1, 3, 5]	[0.111, 0.142, 0.2]
BI	[0.2, 0.333, 1.0]	[1, 1, 3]	[0.111, 0.111, 0.142]
MII	[5, 7, 9]	[7, 9, 9]	[1, 1, 3]

Fonte: A autora

Seguindo na Etapa 7 - Executar a priorização e ordenar os resultados, a matriz de alternativas é criada. Essa matriz é composta pelos grupos das atividades de manutenção identificados nas etapas anteriores do processo SMIPP. Os valores atribuídos foram baseados no trabalho de Abastante et al. (2019). A Tabela 84 mostra a matriz com os valores das suas respectivas alternativas.

Tabela 84 – Matriz de alternativas da simulação III

	Grupo 01	Grupo 02	Grupo 03
Grupo 01	1	7	5
Grupo 02	0.142	1	0.333
Grupo 03	0.2	3	1

Fonte: A autora

A fim de simplificar o processo de avaliação optou-se por construir apenas uma matriz de alternativas para todos os três critérios pois, caso fosse construída uma matriz de alternativas para cada critério, ao todo seriam nove matriz de alternativas para calcular o vetor de prioridade, auto valor, índice de consistência, razão de consistência e peso das alternativas, ou seja, iria aumentar substancialmente o quantitativo de matrizes e a complexidade da simulação.

Analisando a Tabela 84 é possível observar que o Grupo 01 possui importância forte e moderada em relação ao Grupo 02 e 03 respectivamente. E o Grupo 03 possui importância baixa em relação ao Grupo 02.

Progridindo com a Etapa 7 - Executar a priorização e ordenar os resultados, a matriz de alternativas criada anteriormente será fuzzificada para realização dos cálculos com os números *fuzzy*. A Tabela 85 exibe a matriz com os valores das suas respectivas alternativas fuzzificadas.

Tabela 85 – Matriz de alternativas fuzzificada da simulação III

	Grupo 01	Grupo 02	Grupo 03
Grupo 01	[1, 1, 3]	[5, 7, 9]	[3, 5, 7]
Grupo 02	[0.111, 0.142, 0.2]	[1, 1, 3]	[0.2, 0.333, 1]
Grupo 03	[0.142, 0.2, 0.333]	[1, 3, 5]	[1, 1, 3]

Fonte: A autora

Após crias as matrizes de critérios e alternativas é preciso verificar a consistência dessas através do cálculo do vetor de prioridade, auto valor, índice e razão de consistência a fim de investigar se este último é menor que 0.10. A Tabela 86 exhibe os valores calculados.

Tabela 86 – Valores de consistência da matriz de critérios e alternativas da simulação III

Vetor de prioridade	Auto valor	Índice de consistência	Razão de consistência
Matriz de critérios			
[0.155, 0.069, 0.777]	3.080	0.040	0.069
Matriz de alternativas			
[0.0724, 0.083, 0.193]	3.062	0.031	0.053

Fonte: A autora

Por intermédio da Tabela 86 é possível observar que tanto a matriz de critérios como a de alternativas estão consistentes devido aos valores obtidos nos vetor de prioridade, auto valor, índice de consistência e, principalmente, razão de consistência com 0.069 (matriz de critérios) e 0.053 (matriz de alternativas).

Dando continuidade com a Etapa 7 - Executar a priorização e ordenar os resultados, os pesos das matrizes de critérios e alternativas é calculado de acordo com a média geométrica e com a medida sintética, por meio dos algoritmos de Buckley (1985) e Chang (1996), nesta ordem. A Tabela 87 apresenta os pesos das matrizes de critérios e alternativas dos índices de investimento na manutenção, tempo e orçamento para cada um dos algoritmo *fuzzy*.

Tabela 87 – Pesos da matriz de critérios e alternativas da simulação III

Pesos dos critérios			
MCDM	Peso MII	Peso TI	Peso BI
FAHP (Geometric mean Method)	0.080	0.158	0.762
FAHP (Fuzzy extent analysis)	0.092	0.347	0.562

Pesos das alternativas			
MCDM	Grupo 01	Grupo 02	Grupo 03
FAHP (Geometric mean Method)	0.708	0.095	0.197
FAHP (Fuzzy extent analysis)	0.666	0.047	0.293

Fonte: A autora

Observando a Tabela 87, considerando os critérios, é possível verificar que os pesos obtidos pela média geométrica e medida sintética são bastante divergentes em si tratando do TI pelo fato dele apresentar 0.158 e 0.347. Em contrapartida, no MII e BI os valores são mais próximos, com o primeiro apresentando 0.080 e 0.092 e o segundo 0.762 e 0.562, respectivamente.

No que diz respeito ao peso das alternativas, ocorreu a mesma situação, ou seja, a média geométrica e medida sintética geraram valores divergentes ao observar o Grupo 02 com 0.095 e 0.047. Por outro lado, nos Grupos 01 e 03 os valores são bem semelhantes sendo o primeiro com 0.708 e 0.666 e o segundo com 0.197 e 0.293, nesta ordem.

E, por fim, a Etapa 7 - Executar a priorização e ordenar os resultados gera o *ranking* das alternativas priorizadas e ordenadas. A Tabela 88 mostra a posição de cada alternativa.

Tabela 88 – Ranking das alternativas da simulação III com o processo SMIPP

MCDM	Ranking
FAHP (Geometric mean Method)	1º Grupo 01
	2º Grupo 03
	3º Grupo 02
FAHP (Fuzzy extent analysis)	1º Grupo 01
	2º Grupo 03
	3º Grupo 02

Fonte: A autora

Através da Tabela 88 é possível observar que os dois algoritmos *fuzzy* convergiram para o mesmo resultado em relação ao primeiro, segundo e terceiro lugar. Esse resultado já era esperado devido, 1) a média dos índices MII, BI e TI da análise da dependência econômica das atividades de manutenção agrupadas ter identificado a estrutura de agrupamento do custo individual - 5% como melhor resultado e, 2) ao Grupo 01 ter recebido importância forte e moderada quando comparado aos outros grupos, fato que influencia no peso da alternativa.

Resultados e Análise

No que diz respeito a aplicação de testes estatísticos, definiu-se que seria utilizado em todas as simulações o mesmo intervalo de confiança, 95%, na I e II o teste estatístico aplicado seria Mann Whitney e na simulação III seria Wilcoxon. Esta decisão ocorreu devido, 1) ao resultado do teste de normalidade apontar para a amostra ser não paramétrica, ou seja, não seguir a distribuição normal. O teste de normalidade realizado foi Shapiro-Wilk, como dito anteriormente na seção Diretrizes para analisar os resultados, 2) os testes Wilcoxon e Mann Whitney serem largamente utilizados e comprovadamente reconhecidos na comparação de duas amostras pareadas e não pareadas, respectivamente, como mostra Montgomery e Runger (2014) e Godtfredsen et al. (2022) e, 3) segundo (MONTGOMERY; RUNGER, 2014), é preciso ter muita cautela ao utilizar testes estatísticos com valores menores ou maiores que $p = 0.05$ pois, esses podem gerar resultados indesejados e inconsistências. Por isso, na maioria das vezes p é igual a 0.05. Só se deve usar algo diferente disto quando existem informações disponíveis que indiquem que esta é uma escolha inadequada. Assim, como não havia nenhuma informação que refutasse usar $p = 0.05$ então, este foi utilizado nos testes estatísticos.

Optou-se por realizar os testes de hipótese das simulações cinco vezes pelo fato de cada simulação executada com o processo SMIPP ter calculado a média dos três índices (MII, BI e TI) das 30 execuções para cada um dos custos individuais (1 a 5%), conforme pode ser visualizado na Tabela 89. Em vista disso, os cinco testes de hipótese correspondem a análise dos resultados obtidos nos custos individuais (1 a 5%) das três simulações portanto, os seis testes previamente definidos na seção Diretrizes para analisar os resultados, foram executados para cada um dos custos individuais em cada simulação, gerando deste modo 45 testes de hipótese no total.

Importante destacar que, como já descrito anteriormente na seção Diretrizes para analisar os resultados, os testes de hipótese das simulações I e II foram feitos utilizando a média das 30 execuções de cada índice no processo SMIPP com o valor do índice obtido no *framework* SMPF. Infelizmente, não foi possível gerar a média dos índices no *framework* de Swart (2015) pelo fato deste utilizar análise combinatória para gerar os grupos de atividades de manutenção, devido a isso foi utilizado o valor do próprio índice. Por outro lado, com a simulação III é preciso realizar testes de hipóteses diferentes dos realizados com as simulações I e II por causa da limitação do *framework* SMPF que não suporta mais de um ativo. Assim, optou-se por analisar os resultados do retorno do investimento gerados pela estrutura de agrupamento da tarefa, Agrupar as atividades de manutenção, do processo SMIPP com os produzidos pela estrutura de agrupamento do subprocesso, Analisar a dependência econômica, também do processo SMIPP.

Da mesma forma que ocorreu nas simulações, os testes de hipótese foram desenvolvidos na linguagem Python com apoio das bibliotecas Scipy e Sklearn auxiliadas pela ferramenta PyCharm.

Tabela 89 – Resultado dos testes de hipótese

Teste	Simulação I	Simulação II	Simulação III
Custo individual - 1%			
$\left\{ \begin{array}{l} H_0 : \mu MII_{SMIPP} \leq MII_{SMPF} \\ H_a : \mu MII_{SMIPP} > MII_{SMPF} \end{array} \right.$	Não rejeita H_0	Não rejeita H_0	-
$\left\{ \begin{array}{l} H_0 : \mu BI_{SMIPP} \geq BI_{SMPF} \\ H_a : \mu BI_{SMIPP} < BI_{SMPF} \end{array} \right.$	Rejeita H_0	Não rejeita H_0	-
$\left\{ \begin{array}{l} H_0 : \mu TI_{SMIPP} \geq TI_{SMPF} \\ H_a : \mu TI_{SMIPP} < TI_{SMPF} \end{array} \right.$	Rejeita H_0	Rejeita H_0	-
$\left\{ \begin{array}{l} H_0 : \mu MII_{EA_II} \leq \mu MII_{EA_I} \\ H_a : \mu MII_{EA_II} > \mu MII_{EA_I} \end{array} \right.$	-	-	Rejeita H_0
$\left\{ \begin{array}{l} H_0 : \mu BI_{EA_II} \geq BI_{EA_I} \\ H_a : \mu BI_{EA_II} < BI_{EA_I} \end{array} \right.$	-	-	Não rejeita H_0
$\left\{ \begin{array}{l} H_0 : \mu TI_{EA_II} \geq TI_{EA_I} \\ H_a : \mu TI_{EA_II} < TI_{EA_I} \end{array} \right.$	-	-	Não rejeita H_0
Custo individual - 2%			
$\left\{ \begin{array}{l} H_0 : \mu MII_{SMIPP} \leq MII_{SMPF} \\ H_a : \mu MII_{SMIPP} > MII_{SMPF} \end{array} \right.$	Não rejeita H_0	Não rejeita H_0	-
$\left\{ \begin{array}{l} H_0 : \mu BI_{SMIPP} \geq BI_{SMPF} \\ H_a : \mu BI_{SMIPP} < BI_{SMPF} \end{array} \right.$	Rejeita H_0	Não rejeita H_0	-

$\begin{cases} H_0 : \mu TI_{SMIPP} \geq TI_{SMPF} \\ H_a : \mu TI_{SMIPP} < TI_{SMPF} \end{cases}$	Rejeita H_0	Não rejeita H_0	-
$\begin{cases} H_0 : \mu MII_{EA_II} \leq \mu MII_{EA_I} \\ H_a : \mu MII_{EA_II} > \mu MII_{EA_I} \end{cases}$	-	-	Rejeita H_0
$\begin{cases} H_0 : \mu BI_{EA_II} \geq BI_{EA_I} \\ H_a : \mu BI_{EA_II} < BI_{EA_I} \end{cases}$	-	-	Não rejeita H_0
$\begin{cases} H_0 : \mu TI_{EA_II} \geq TI_{EA_I} \\ H_a : \mu TI_{EA_II} < TI_{EA_I} \end{cases}$	-	-	Não rejeita H_0
Custo individual - 3%			
$\begin{cases} H_0 : \mu MII_{SMIPP} \leq MII_{SMPF} \\ H_a : \mu MII_{SMIPP} > MII_{SMPF} \end{cases}$	Não rejeita H_0	Não rejeita H_0	-
$\begin{cases} H_0 : \mu BI_{SMIPP} \geq BI_{SMPF} \\ H_a : \mu BI_{SMIPP} < BI_{SMPF} \end{cases}$	Rejeita H_0	Rejeita H_0	-
$\begin{cases} H_0 : \mu TI_{SMIPP} \geq TI_{SMPF} \\ H_a : \mu TI_{SMIPP} < TI_{SMPF} \end{cases}$	Rejeita H_0	Rejeita H_0	-
$\begin{cases} H_0 : \mu MII_{EA_II} \leq \mu MII_{EA_I} \\ H_a : \mu MII_{EA_II} > \mu MII_{EA_I} \end{cases}$	-	-	Rejeita H_0
$\begin{cases} H_0 : \mu BI_{EA_II} \geq BI_{EA_I} \\ H_a : \mu BI_{EA_II} < BI_{EA_I} \end{cases}$	-	-	Não rejeita H_0

$\begin{cases} H_0 & : & \mu TI_{EA_II} \geq TI_{EA_I} \\ H_a & : & \mu TI_{EA_II} < TI_{EA_I} \end{cases}$				-	-	Não rejeita H_0
Custo individual - 4%						
$\begin{cases} H_0 & : & \mu MII_{SMIPP} \leq MII_{SMPF} \\ H_a & : & \mu MII_{SMIPP} > MII_{SMPF} \end{cases}$				Não rejeita H_0	Não rejeita H_0	-
$\begin{cases} H_0 & : & \mu BI_{SMIPP} \geq BI_{SMPF} \\ H_a & : & \mu BI_{SMIPP} < BI_{SMPF} \end{cases}$				Rejeita H_0	Rejeita H_0	-
$\begin{cases} H_0 & : & \mu TI_{SMIPP} \geq TI_{SMPF} \\ H_a & : & \mu TI_{SMIPP} < TI_{SMPF} \end{cases}$				Rejeita H_0	Rejeita H_0	-
$\begin{cases} H_0 & : & \mu MII_{EA_II} \leq \mu MII_{EA_I} \\ H_a & : & \mu MII_{EA_II} > \mu MII_{EA_I} \end{cases}$				-	-	Rejeita H_0
$\begin{cases} H_0 & : & \mu BI_{EA_II} \geq BI_{EA_I} \\ H_a & : & \mu BI_{EA_II} < BI_{EA_I} \end{cases}$				-	-	Rejeita H_0
$\begin{cases} H_0 & : & \mu TI_{EA_II} \geq TI_{EA_I} \\ H_a & : & \mu TI_{EA_II} < TI_{EA_I} \end{cases}$				-	-	Não rejeita H_0
Custo individual - 5%						
$\begin{cases} H_0 & : & \mu MII_{SMIPP} \leq MII_{SMPF} \\ H_a & : & \mu MII_{SMIPP} > MII_{SMPF} \end{cases}$				Não rejeita H_0	Não rejeita H_0	-
$\begin{cases} H_0 & : & \mu BI_{SMIPP} \geq BI_{SMPF} \\ H_a & : & \mu BI_{SMIPP} < BI_{SMPF} \end{cases}$				Rejeita H_0	Rejeita H_0	-

$\begin{cases} H_0 & : & \mu TI_{\text{SMIPP}} \geq TI_{\text{SMPF}} \\ H_a & : & \mu TI_{\text{SMIPP}} < TI_{\text{SMPF}} \end{cases}$	Rejeita H_0	Rejeita H_0	-
$\begin{cases} H_0 & : & \mu MII_{\text{EA_II}} \leq \mu MII_{\text{EA_I}} \\ H_a & : & \mu MII_{\text{EA_II}} > \mu MII_{\text{EA_I}} \end{cases}$	-	-	Rejeita H_0
$\begin{cases} H_0 & : & \mu BI_{\text{EA_II}} \geq BI_{\text{EA_I}} \\ H_a & : & \mu BI_{\text{EA_II}} < BI_{\text{EA_I}} \end{cases}$	-	-	Não rejeita H_0
$\begin{cases} H_0 & : & \mu TI_{\text{EA_II}} \geq TI_{\text{EA_I}} \\ H_a & : & \mu TI_{\text{EA_II}} < TI_{\text{EA_I}} \end{cases}$	-	-	Não rejeita H_0

Fonte: A autora

Por meio da Tabela 89 é possível visualizar que em algumas situações a hipótese nula não foi rejeitada, gerando um resultado que não estava dentro do esperado. Contudo, vale salientar que os testes foram realizados para cada um dos índices separadamente devido a natureza dos testes de hipótese porém, a análise dos resultados precisa necessariamente considerar todos os índices para que haja uma equidade pois, eles possuem influência uns sobre os outros.

Ao analisar os testes de hipótese realizados na simulação I observa-se que, em todas as situações (custo individual 1, 2, 3, 4 e 5%), o resultado foi o mesmo, ou seja, a hipótese nula não foi rejeitada com o índice MII mas, ela foi rejeitada com os índices BI e TI. Assim, é possível inferir que os métodos de priorização utilizados no *framework* SMPF focaram majoritariamente no índice MII negligenciando os outros dois índices, mesmo todos eles tendo o mesmo peso, no caso 0.333. Inclusive, conforme descrito na seção Concepção das simulações, em relação as decisões estratégicas, optou-se por utilizar o mesmo cenário para as três simulações, o cenário pessimista, ou seja, mais um motivo para que os índices BI e TI não fossem descuidados.

Além da necessidade de verificar a equalização dos índices, também é importante destacar que na simulação I o resultado obtido com a aplicação do *framework* SMPF foi decorrente da priorização de grupos compostos por todas ou quase todas as atividades de manutenção, ou seja, não houve uma priorização propriamente dita. Portanto, apesar dos testes de hipótese não rejeitarem a hipótese nula em todas as situações ela foi rejeitada na maioria delas e também é preciso ter uma visão panorâmica do contexto no qual os três índices precisam ser analisados conjuntamente.

De forma semelhante a simulação I, no que diz respeito aos testes de hipótese realizados na simulação II, em quase todas as situações (custo 1, 3, 4 e 5%) o resultado foi o mesmo, ou seja, a hipótese nula não foi rejeitada com o índice MII mas, ela foi rejeitada nos índices BI e TI. Apenas no custo 2% que a hipótese nula foi rejeitada apenas com o índice TI, isto é, ela não foi rejeitada com os índices MII e BI. Acredita-se que isso tenha ocorrido devido aos mesmos motivos já relatados anteriormente na simulação I. Vale salientar que apesar da população ser diferente nas simulações I e II mas, ambas foram submetidas ao mesmo processo e *framework*, com os mesmos cenários, configurações, métodos MCDM de priorização, entre outros fatores que influenciaram na convergência dos resultados dos testes de hipótese.

E, por fim, os testes de hipótese realizados na simulação III apresentaram um comportamento diferente pois, nas situações (custo individual 1, 2, 3 e 5%) o resultado foi o mesmo, ou seja, a hipótese nula foi rejeitada com o índice MII mas, não foi com os índices BI e TI. Apenas no custo individual 4% que a hipótese nula foi rejeitada com os índices MII e BI, isto é, com o custo individual 4% o único índice em que a hipótese nula não foi rejeitada foi com índice BI.

Acredita-se que esses resultados tenham sido obtidos na simulação III devido a médica

das 30 execuções dos três índices possuírem resultados muito semelhantes, como pode ser visto no TI da EA_I (3.198E-01, 3.200E-01, 3.189E-01) e da EA_II (3.198E-01, 3.204E-01, 3.192E-01). Possivelmente isso tenha ocorrido pelo fato das estruturas de agrupamento formadas no contexto dos custos individuais (EA_II) não terem apresentado muita variabilidade quando comparadas aos grupos da população inicial (EA_I). Posteriormente, é interessante a realização de uma análise de sensibilidade para melhor investigar a pouca mutabilidade das estruturas de agrupamento dos custos individuais.

5.3 SURVEY COM ESPECIALISTAS

Planejamento

Neste momento é preciso planejar os aspectos gerais do *survey*, tais como, seu objetivo, público-alvo, tipo e questões de pesquisas. Portanto, em relação ao primeiro aspecto, objetivo, definiu-se que o *survey* deveria avaliar o processo SMIPP acerca dos dez princípios de um bom gerenciamento de processo de negócio. Esses princípios foram estabelecidos por Brocke et al. (2014) e tem como finalidade auxiliar, de forma prática, a aplicação do gerenciamento de processo de negócio na indústria. Os dez princípios tem como propósito guiar os gestores de negócio na coordenação das atividades internas da organização bem como na avaliação de ofertas de serviços terceirizados, como por exemplo, consultorias. A Tabela 90 lista todos os dez princípios com suas respectivas descrições.

Tabela 90 – Princípios e suas descrições

Princípio	Descrição
Princípio da aderência ao contexto	Adequação ao contexto organizacional. Não deve ser seguido como uma receita de bolo.
Princípio da continuidade	Deve ser uma prática constante, em vez de ser de um projeto único.
Princípio da capacitação	É importante desenvolver habilidades em vez de focar apenas na resolução emergencial de problemas.
Princípio do holismo	O escopo deve ser inclusivo, ou seja, não deve ter um direcionamento isolado.
Princípio da institucionalização empresa.	É preciso que esteja incorporado na estrutura organizacional da empresa.
Princípio do envolvimento	É importante que integre o máximo possível de <i>stakeholders</i> . A participação dos funcionários não deve ser negligenciada.

Princípio da aplicação adequada da tecnologia	É preciso saber aplicar a tecnologia no momento oportuno para que esta não se torne reflexão tardia.
Princípio do entendimento conjunto	A compreensão precisa ser compartilhada em vez de ser restrita a um grupo de especialistas.
Princípio do propósito	É essencial que as ações agreguem na criação de valor estratégico, ou seja, é preciso planejar qual será o retorno obtido.
Princípio da simplicidade	É importante que as ações sejam econômicas, ou seja, projetar de mais é negativo.

Fonte: Brocke et al. (2014)

No que diz respeito ao segundo aspecto, público-alvo, estabeleceu-se que o grupo de indivíduos ao qual o *survey* se aplica, são gestores de ativos que atuam na academia como pesquisadores e na indústria profissionalmente. Para identificar os participantes, primeiramente foi realizado um levantamento das empresas nacionais e internacionais que gerenciam ativos direta ou indiretamente e, posteriormente, investigou-se quem são os pesquisadores acadêmicos que possuem trabalhos publicados nessa linha de pesquisa.

Em relação a seleção das empresas nacionais optou-se por utilizar o *ranking* realizado pela *Econodata* ¹ das 500 maiores empresas de manutenção industrial no Brasil por faturamento em 2023. Após uma análise de viabilidade, verificou-se que seria bastante dispendioso abranger todas as 500 empresas do *ranking* por isso, apenas os 100 primeiros lugares foram selecionados.

Acerca da escolha das organizações internacionais decidiu-se por usar o top 13 das empresas mundiais de gestão de *facility* de 2023 feito pela *Imarcgroup* ², o top 20 das principais empresas de gestão de *facility* de 2022 produzido pela *Building* ³ e o top 10 das empresas líderes em gestão de *facility* de 2021 feito pela *Fortune Business Insights* ⁴.

Além disso, também adicionou-se as instituições internacionais parceiras da ABRAMAN ⁵ (7 no total) e as organizações que apoiaram os estudos retornados na RSL apresentada no Capítulo 3 desta tese (17 no total).

No que se refere, a seleção dos acadêmicos estabeleceu-se que seriam escolhidos estudiosos de destaque na área, ou seja, que apresentavam um volume de publicações considerável. Para se obter essa medida utilizou-se a quantidade de artigos publicados e citados

¹ <https://www.econodata.com.br/maiores-empresas/todo-brasil/manutencao-industrial>

² <https://www.imarcgroup.com/facility-management-companies>

³ <https://www.building.co.uk/focus/top-20-facilities-management-and-services-firms-2022-the-table/5120918.article>

⁴ <https://www.fortunebusinessinsights.com/blog/top-10-facility-management-companies-10579>

⁵ <https://abramanoficial.org.br/page/institucional>

de acordo com o Google acadêmico ⁶. Também optou-se por englobar as universidades, faculdades e Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI) que possuíam núcleos de pesquisa na área. Além de incluir os autores e co-autores dos trabalhos retornados na RSL e no *snowballing*. Ao todo foram identificados 27 instituições de ensino nacionais e 11 internacionais, totalizando 11 instituições.

Sobre o terceiro aspecto, tipo das perguntas, estas podem ser classificadas em abertas e fechadas, ou seja, o *survey* é semiestruturado pelo fato dele ser constituído de perguntas de múltipla-escolha, bem como, de perguntas abertas. A Tabela 91 mostra a relação entre a categoria das perguntas com o tipo e a quantidade de perguntas do *Survey*.

Tabela 91 – Categoria x Tipo das Perguntas

Categoria	Tipo das Perguntas
Termo de Consentimento Livre, Esclarecido e Confidencialidade	1 - (Fechada – Múltipla escolha)
Perfil dos participantes	2 - (Fechada – Múltipla escolha)
	3 - (Fechada – Múltipla escolha)
	4 - (Fechada – Múltipla escolha)
Princípio da aderência ao contexto	5 - (Fechada – Múltipla escolha)
	6 - (Aberta)
	7 - (Fechada – Múltipla escolha)
Princípio da continuidade	8 - (Fechada – Múltipla escolha)
	9 - (Aberta)
Princípio da capacitação	10 - (Fechada – Múltipla escolha)
	11 - (Aberta)
Princípio do holismo	12 - (Fechada – Múltipla escolha)
Princípio da institucionalização	13 - (Fechada – Múltipla escolha)
Princípio do envolvimento	14 - (Fechada – Múltipla escolha)
Princípio da aplicação adequada da tecnologia	15 - (Fechada – Múltipla escolha)
	16 - (Fechada – Múltipla escolha)
	17 - (Aberta)
	18 - (Fechada – Múltipla escolha)
	19 - (Fechada – Múltipla escolha)
	20 - (Fechada – Múltipla escolha)

⁶ <https://scholar.google.com.br/>

	21 - (Aberta)
Princípio do propósito	22 - (Fechada – Escala Likert)
	23 - (Fechada – Múltipla escolha)
	24 - (Aberta)
	25 - (Fechada – Múltipla escolha)
Princípio da simplicidade	26 - (Aberta)
	27 - (Fechada – Múltipla escolha)
	28 - (Fechada – Múltipla escolha)
	29 - (Aberta)
Espaço livre para os participantes contribuírem com opiniões, críticas ou sugestões de melhorias	30 - (Aberta)

Fonte: A autora

No que tange o quarto e último aspecto, questões de pesquisas, elaborou-se 30 perguntas totais, das quais 25 estão relacionadas aos dez princípios de um bom gerenciamento de processo de negócio. Do conjunto de 25 perguntas, 17 são fechadas e 8 abertas. A Tabela 92 apresenta a relação dos princípios com as 17 Afirmações fechadas do *Survey*.

Tabela 92 – Princípios x Afirmações do *Survey*

Princípio	Afirmação
Princípio da aderência ao contexto	Eu acho que eu teria dificuldade em customizar este processo para o contexto da minha organização.
	Eu acho que o processo torna-se flexível pelo fato dele ser interativo e incremental.
Princípio da continuidade	Eu acho que o processo atrapalha as minhas atividades diárias do trabalho.
Princípio da capacitação	Eu acho que o processo prejudica o desenvolvimento das competências pessoais do gestor de ativos.
Princípio do holismo	Eu acho que o processo ajuda na integração dos diferentes departamentos da minha empresa (ex: financeiro, TI, engenharia).
Princípio da institucionalização	Eu utilizaria o processo na minha empresa.
Princípio do envolvimento	Eu acho que o processo engaja o gestor de ativos com os outros tomadores de decisão da empresa.

Princípio da aplicação adequada da tecnologia	Eu acho que a aplicação das tecnologias de inteligência artificial, no planejamento e execução da priorização de grupos de atividades de manutenção de sistemas multiativos homogêneos, ajuda a identificar agrupamentos capazes de maximizar o retorno do investimento em paradas de manutenção com restrições de tempo e orçamento.
Princípio do entendimento conjunto	Eu acho que o processo é complexo.
	Eu acho que o processo forneceu resultados fáceis de entender.
	Eu acho que a ordem das etapas do processo está correta.
	Eu tive dificuldade em compreender os artefatos de entrada e saída do processo.
Princípio do propósito	Eu acho que processo SMIPP ajuda na identificação dos agrupamentos de atividades de manutenção, de sistemas multiativos homogêneos, que amplificam o retorno do investimento em paradas de manutenção com restrições de tempo e orçamento.
Princípio da simplicidade	Eu acho que a quantidade de etapas do processo poderia ser reduzida.
	Eu acho que a quantidade de etapas manuais do processo é exagerada.
	Eu acho que as etapas automáticas tornam o processo mais simples.
	Eu acho que algumas etapas obrigatórias poderiam ser opcionais.

Fonte: A autora

As 17 perguntas fechadas utilizaram uma escala de cinco pontos do tipo Likert (LIKERT, 1932), para as quais atribuiu-se valores qualitativos: Discordo totalmente, Discordo parcialmente, Não concordo nem discordo, Concordo parcialmente e Concordo totalmente.

Desenvolvimento

Esta etapa do *survey* refere-se a coleta dos dados, que ocorreu por meio de um questionário contendo um termo de consentimento livre e esclarecido, termo de confidencialidade, um vídeo e 30 perguntas. O questionário pode ser categorizado como sendo semiestruturado pois, ele é composto de 21 perguntas de múltipla-escolha, assim como, de 9 perguntas abertas.

Como o nicho de especialistas em gestão de ativos não se restringe apenas aos falantes do idioma português então, optou-se por disponibilizar o *survey* em duas versões idênticas, sendo uma em português (ver Apêndice J) e outra em inglês (ver Apêndice ??) a fim de abranger um maior número de especialistas. Para facilitar o entendimento do processo,

a autora desta tese fez um vídeo explicando verbalmente todo o processo proposto e, também foi feita a inclusão de legenda em inglês ao longo de todo o vídeo.

Importante salientar que foi enviado para todos os participantes uma mensagem de solicitação para participação do *survey* com a apresentação dos envolvidos na pesquisa, tempo estimado para conclusão, o link do *survey*, bem como o contato da autora deste trabalho para o caso de haver dúvidas, sugestões, críticas, entre outros. Foram enviadas mensagens na versão em português (ver Apêndice H) e inglês (ver Apêndice I).

Além disso, vale mencionar que o *survey* foi elaborado através da ferramenta online QuestionPro⁷ e uma versão piloto foi avaliada previamente, antes de ser liberada para os participantes, por um professor doutor da Universidade de Pernambuco (UPE). O intuito dessa avaliação preliminar foi verificar a corretude, clareza e objetividade das perguntas do questionário, bem como o tempo médio para resposta.

Em relação a quantidade de envios do *survey*, ao todo foram enviados 222 solicitações de participação, das quais 50 foram para academia e 172 para indústria. No que diz respeito a academia, na versão em português, foram enviadas 36 solicitações, ao passo que na versão inglês foram 14. Todas as solicitações ocorreram através de email. Por outro lado, na indústria, na versão em português, foram enviadas 119 solicitações, ao passo que na versão inglês foram 53. Mais detalhadamente, as solicitações na versão em português, ocorreram por meio de emails (111) e fale conosco (8). Já na versão em inglês foram emails (24) e fale conosco (29)

A quantidade total de solicitações enviadas é bem superior que o número de pesquisadores e empresas pelo fato de, 1) muitas vezes o site da empresa disponibilizava mais de uma forma de contato (2 ou mais *emails*, fale conosco, etc) e, diante da dificuldade de se obter respostas, optou-se por enviar a solicitação para todas as formas de contato disponíveis, 2) em muitos casos os artigos possuíam mais de um autor assim, optou-se por enviar a solicitação para todos os autores, 3) quando verificava-se que o autor do trabalho participava de um grupo de pesquisa, enviava-se a solicitação para todos do grupo e, 4) incluiu-se também os autores e co-autores dos trabalhos retornados na RSL e *snowballing*.

Relevante destacar que não foi possível submeter os experimentos realizados com os especialistas ao comitê de ética da instituição onde este trabalho foi desenvolvido. Contudo, a fim de minimizar esta falha, foi elaborado um termo de consentimento e confidencialidade e, antes do participante iniciar o *survey* foi solicitado que ele lesse atentamente e, caso concordasse com o termo, declarasse explicitamente sua decisão através do preenchimento e submissão do formulário eletrônico.

Resultados e análise

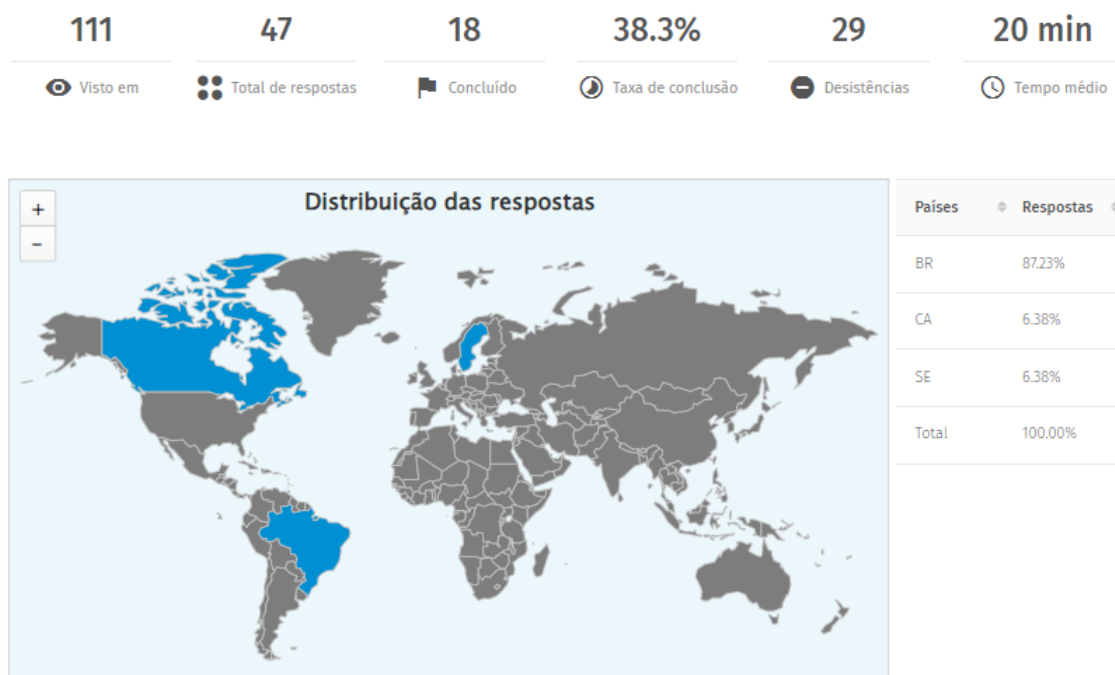
O *survey* esteve disponível durante o período de 29/12/2023 a 01/03/2024. Sua versão em português foi visualizada por 111 (cento e onze) potenciais participantes, dos quais 47

⁷ <https://www.questionpro.com/pt-br/?>

(quarenta e sete) deles começaram a responder o *survey*, tendo, no entanto, 29 (vinte e nove) desistências ao longo das questões e 18 (dezoito) conclusões, ou seja, os participantes que responderam o *survey* do início até a última pergunta, como pode ser visualizado na Figura 77. Por outro lado, na versão em inglês, foi visualizada por 38 (trinta e oito) potenciais participantes, dos quais 7 (sete) deles começaram a responder o *survey*, tendo, no entanto, 6 (seis) desistências ao longo das questões e 1 (uma) conclusão, como pode ser visualizado na Figura 78.

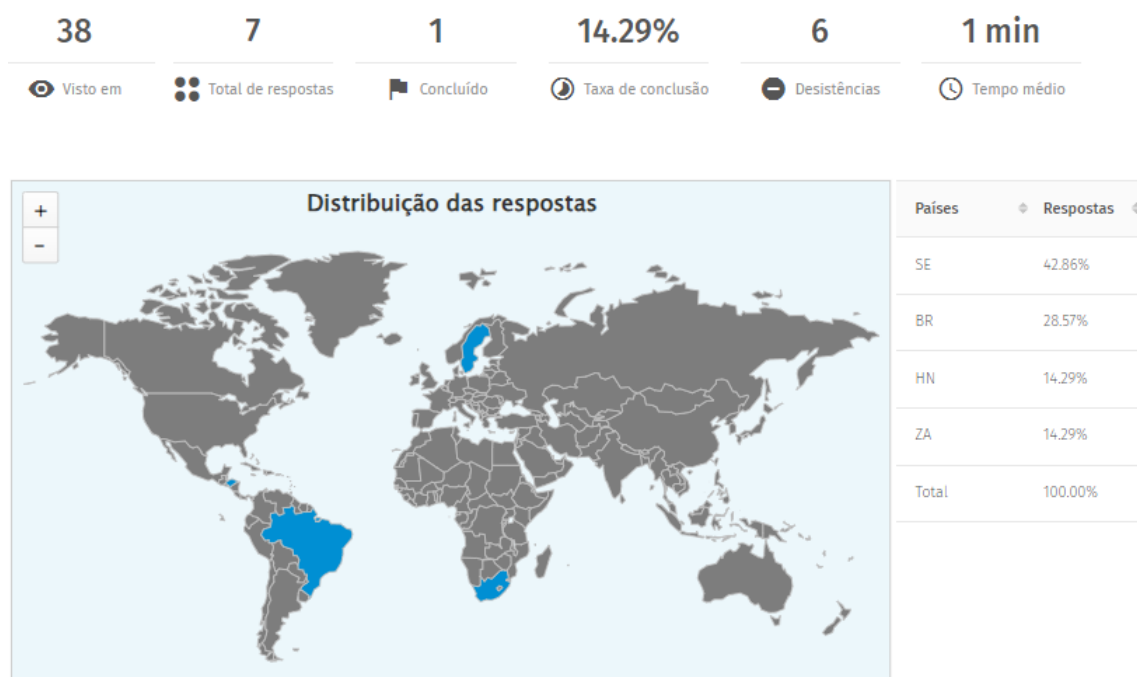
As Figuras 77 e 78 também mostram os países que responderam o *survey* versão em Português, são: Brasil (41 respostas; 87,23%), Canadá (3 respostas; 6,38%) e Suécia (3 respostas; 6,38%). Em contrapartida, os países que responderam o *survey* versão em inglês, são: Suécia (3 respostas; 42,86%), Brasil (2 respostas; 28,57%), Honduras (1 resposta; 14,29%) e África do sul (1 resposta; 14,29%).

Figura 77 – Quantidade e localização geográfica dos participantes (versão em português)



Fonte: A autora

Figura 78 – Quantidade e localização geográfica dos participantes (versão em inglês)



Fonte: A autora

Vale mencionar que, devido as características da ferramenta de pesquisa utilizada (QuestionPro), não é possível identificar ou distinguir as respostas dos participantes que responderam do início até o fim em detrimento dos que desistiram ao longo do percurso das respostas. Por isso, mesmo alguns dos participantes não tendo completado todo o *survey*, todas as respostas atribuídas a cada uma das questões foram contabilizadas.

A fim de melhor examinar os resultados e analisar os dados que foram extraídos do *survey*, este foi dividido em cinco partes, são elas:

- Termo de consentimento livre e esclarecido;
- Termo de confidencialidade;
- Perfil dos participantes;
- Vídeo sobre o processo SMIPP;
- Questões relativas a aderência do processo SMIPP aos princípios de um bom gerenciamento de processo de negócio.

A primeira e segunda parte do *survey* é composta pelo termo de consentimento livre, esclarecido e de confidencialidade que tem como objetivo assegurar o compromisso ético no tocante à preservação da confidencialidade informações coletadas no *survey* e livre arbítrio dos participantes em responder as questões. É importante ressaltar que o *survey*

só permitia iniciar as questões se o participante declarasse explicitamente que aceitava o termo de consentimento livre e esclarecido.

A terceira parte do *survey*, Perfil dos participantes, tem como finalidade identificar quais são os perfis dos participantes. Dentro daqueles que responderam à questão de pesquisa "Qual o seu nível acadêmico?", foram obtidas 24 (vinte e quatro) respostas. Segundo os resultados exibidos na Figura 77 o nível acadêmico que mais se destaca é graduação (54.17%; 13 respostas). Posteriormente, mestrado (37.50%; 9 respostas). Finalmente, especialização (8.33%; 2 respostas).

Figura 79 – Qual o seu nível acadêmico?

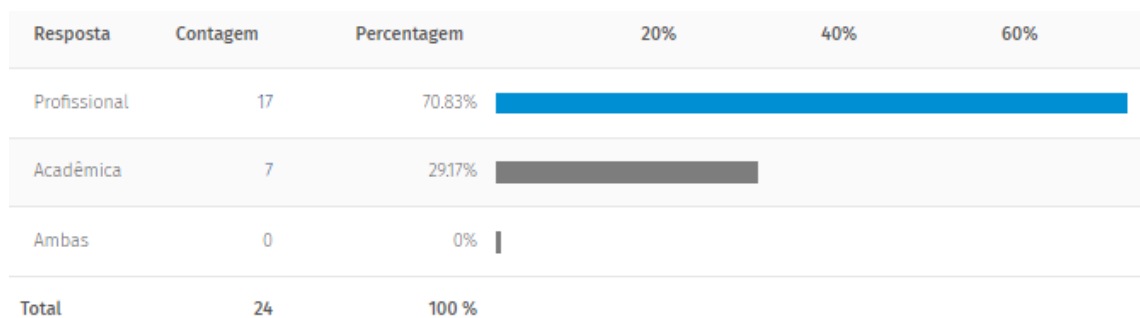
Resposta	Contagem	Porcentagem	20%	40%	60%
Graduação	13	54.17%			
Especialização	2	8.33%			
Mestrado	9	37.5%			
Doutorado	0	0%			
Outro	0	0%			
Total	24	100 %			

Fonte: A autora

Diante dessas informações é possível verificar que somando a quantidade de participantes mestres e especialistas obtém-se um total de 45.83%, ou seja, quase a metade dos respondentes são pessoas com um nível acadêmico de pós-graduação, fato que gera uma maior robustez em relação as respostas e observações realizadas.

Ainda sobre o perfil dos participantes, a questão de pesquisa "Qual o tipo de experiência que você tem com gestão de manutenção?", foram obtidas 24 (vinte e quatro) respostas. De acordo com os resultados exibidos na Figura 80 o tipo de experiência que mais se destaca é profissional (70.83%; 17 respostas). Posteriormente, acadêmico (29.17%; 7 respostas).

Figura 80 – Qual o tipo de experiência que você tem com gestão de manutenção?

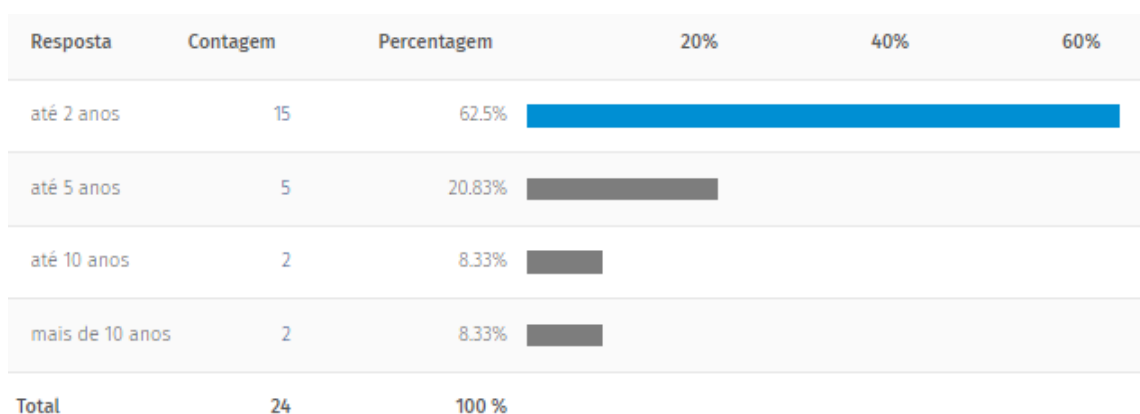


Fonte: A autora

Em relação as informações obtidas é possível constatar que a quantidade de participantes que possuem experiência profissional com gestão de manutenção corresponde a 54.17%, ou seja, mais da metade dos respondentes são pessoas que atuam diretamente neste setor lidando diariamente com as necessidades e os desafios da área de gestão de manutenção. Devido a isso, as respostas e observações desses participantes agregam valor significativo para esta pesquisa.

Por fim sobre o perfil dos participantes, a questão de pesquisa "Há quanto tempo você atua na área de gestão de manutenção?", foram obtidas 24 (vinte e quatro) respostas. De acordo com os resultados exibidos na Figura 81 o tempo de atuação na área que mais se destaca é até 2 anos (62.50%; 15 respostas). Posteriormente, até 5 anos (20.83%; 5 respostas). Em seguida, até 10 anos (8.33%; 2 respostas). Finalmente, mais de 10 anos (8.33%; 2 respostas).

Figura 81 – Há quanto tempo você atua na área de gestão de manutenção?



Fonte: A autora

Frente as informações obtidas verifica-se que mais da metade dos respondentes (63.50%) são pessoas que atuam na área de gestão de manutenção até 2 anos. Acredita-se que este resultado foi obtido pelo fato desse perfil de pessoas possuírem maior pretensão a adesão de novos processos ou metodologias de trabalho. Inclusive, em conversas que a autora

desta tese teve com profissionais especialistas na área percebeu-se que, infelizmente, pessoas que tem mais tempo de atuação são mais resistentes a adesão de novas abordagens.

A quarta parte do *survey*, Vídeo, corresponde a um vídeo gravado pela autora desta pesquisa explicando todo o processo SMIPP, com seus respectivos fluxos condicionais, artefatos, papéis, entre outros.

A quinta parte do *survey*, Questões relativas a aderência do processo SMIPP aos princípios de um bom gerenciamento de processo de negócio, diz respeito a verificação do processo proposto aos dez princípios para gerenciamento de processo de negócio na indústria. Para todas as afirmações que abordam aspectos negativos relacionados ao processo SMIPP, tais como, dificuldade, prejuízo ou complexidade optou-se pela próxima afirmação ser aberta para que o participante tivesse a oportunidade de justificar sua opinião.

Assim, na primeira afirmação "Eu acho que eu teria dificuldade em customizar este processo para o contexto da minha organização.", foram obtidas 21 (vinte e uma) respostas. Conforme os resultados exibidos na Figura 82 a resposta que mais se destaca é discordo parcialmente (57.14%; 12 respostas). Posteriormente, concordo parcialmente (28.57%; 6 respostas). Em seguida, discordo totalmente (9.52%; 2 respostas). Finalmente, não concordo nem discordo (4.76%; 1 resposta).

Figura 82 – Eu acho que eu teria dificuldade em customizar este processo para o contexto da minha organização.

Resposta	Contagem	Porcentagem	20%	40%	60%
Discordo totalmente	2	9.52%			
Discordo parcialmente	12	57.14%			
Não concordo nem discordo	1	4.76%			
Concordo parcialmente	6	28.57%			
Concordo totalmente	0	0%			
Total	21	n = 21			

Fonte: A autora

A afirmação anterior verifica a adesão do processo SMIPP ao princípio da aderência ao contexto da organização. Os resultados mostram que a soma das respostas discordo parcialmente e totalmente correspondem a mais da metade dos respondentes (66.66%), indicando um resultado bastante positivo.

Para melhor entender a motivação de alguns participantes terem selecionado respostas diferentes de discordo totalmente ou parcialmente na afirmação anterior, solicitou-se para

o participantes justificar sua resposta na próxima afirmação "Se a resposta da afirmação anterior for Concordo totalmente, Concordo parcialmente ou Não concordo nem discordo então, por favor descreva porque você teria dificuldade em customizar este processo para o contexto da sua organização.". Ao todo foram obtidas 4 (quatro) respostas, conforme pode ser visualizado na Tabela 93.

Tabela 93 – Justificativas da afirmação relacionada ao Princípio da Aderência ao Contexto

Participante	Justificativa
Participante 1	Toda solução requer um certo nível de maturidade da organização. Para implementar novas soluções é necessário que exista uma cultura para que novas soluções não apresentem resistência em níveis mais baixos, como o operacional, para que a solução não fique restrita a organizações com um alto nível de maturidade.
Participante 2	Porque trabalho em uma empresa pública e nesse tipo de organização é difícil modificar as funções das pessoas e implantar processos mais refinados.
Participante 3	Área pública. As pessoas antigas na casa que são maioria na empresa são resistentes a mudanças e a novas propostas.
Participante 4	Falta de definição das demandas em relação aos sistemas.

Fonte: A autora

As justificas indicam possíveis dificuldades na implantação do processo SMIPP devido a resistência existente por parte de alguns profissionais no que diz respeito a novas abordagens, metodologias de trabalho e tecnologias. Principalmente na área pública.

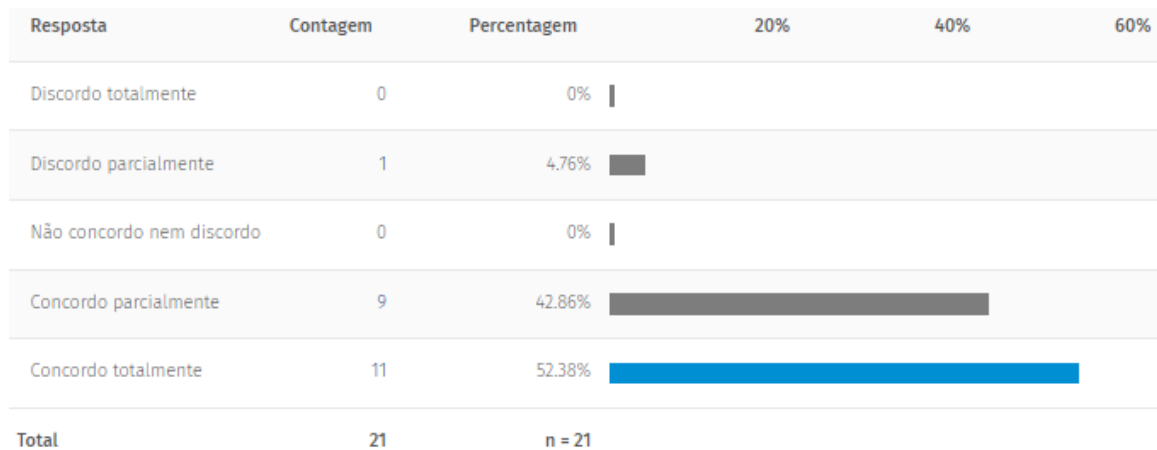
Acredita-se que, antes de implantar o processo proposto, seja necessário realizar um trabalho de conscientização corporativa, com alguns encontros, para demonstração das características, importância e sobretudo, benefícios gerados pela adesão do processo. Considera-se essencial o envolvimento de todos os níveis hierárquicos da empresa para obtenção de resultados satisfatórios.

Importante destacar que nenhuma justificativa diz respeito ao processo SMIPP propriamente dito ou a algum aspecto relacionado exclusivamente a ele, ou seja, a dificuldade para customizar este processo para o contexto de uma organização não possui nenhuma anormalidade ou complexidade adicional.

Na sequência, a afirmação "Eu acho que o processo torna-se flexível pelo fato dele ser interativo e incremental.", foram obtidas 21 (vinte e uma) respostas. Conforme os resultados exibidos na Figura 83 a resposta que mais se destaca é concordo totalmente (52.38%;

11 respostas). Posteriormente, concordo parcialmente (42.86%; 9 respostas). Finalmente, discordo parcialmente (4.76%; 1 resposta).

Figura 83 – Eu acho que o processo torna-se flexível pelo fato dele ser interativo e incremental.

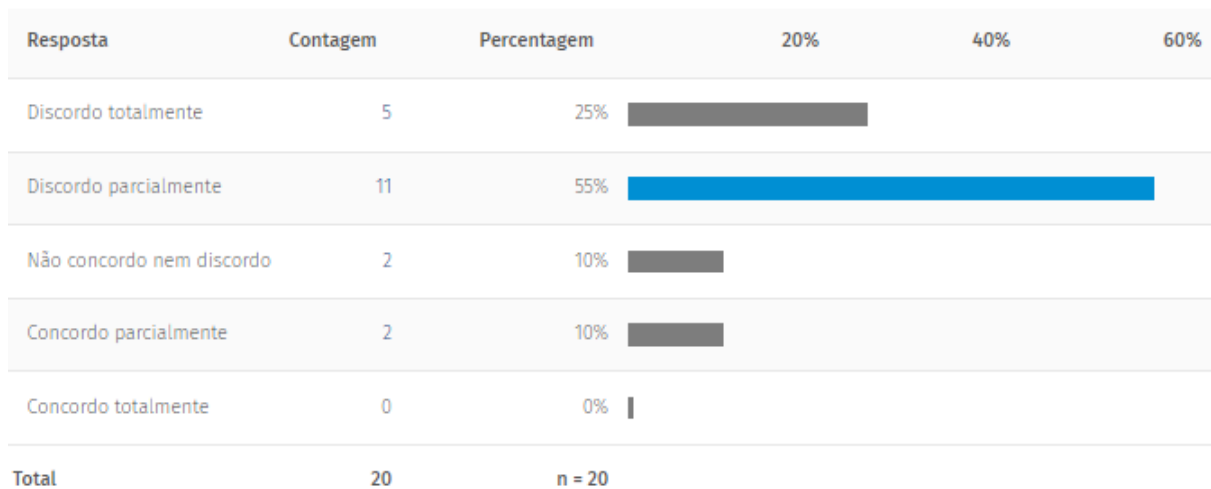


Fonte: A autora

A afirmação precedente verifica a conformidade do processo SMIPP ao princípio da aderência ao contexto da organização. Os resultados mostram que a soma das respostas concordo parcialmente e totalmente correspondem a quase todos os respondentes (95.24%), indicando um resultado extremamente positivo. Acredita-se que a motivação de alguns participantes terem selecionado respostas diferentes de concordo totalmente ou parcialmente foi a impressão de que mesmo o processo sendo iterativo e incremental ainda seria necessário recomençar todas as atividades do início toda vez que se deseja priorizar as atividades de manutenção. Em vez disso, na primeira vez o gestor de ativos precisará seguir todas as etapas porém, posteriormente ele pode alterar ou adicionar elementos na priorização já existente sem precisar começar do início todas as vezes que desejar alterar o valor de uma medida de tempo ou custo.

Em seguida, a afirmação "Eu acho que o processo atrapalha as minhas tarefas diárias do trabalho.", foram obtidas 20 (vinte) respostas. Conforme os resultados exibidos na Figura 84 a resposta que mais se destaca é discordo parcialmente (55%; 11 respostas). Posteriormente, discordo totalmente (25%; 5 respostas). Finalmente, não concordo nem discordo e concordo parcialmente (10%; 2 respostas).

Figura 84 – Eu acho que o processo atrapalha as minhas tarefas diárias do trabalho.



Fonte: A autora

A afirmação anterior analisa a concordância do processo SMIPP ao princípio da continuidade. Os resultados mostram que a soma das respostas discordo parcialmente e totalmente correspondem a mais da metade dos respondentes (80%), apontando um resultado demasiadamente positivo.

Para melhor entender a motivação de alguns participantes terem selecionado respostas diferentes de discordo totalmente ou parcialmente na afirmação anterior, solicitou-se para o participantes justificar sua resposta na próxima afirmação "Se a resposta da pergunta anterior for Concordo totalmente, Concordo parcialmente ou Não concordo nem discordo então, por favor descreva porque você acha que o processo atrapalha as suas tarefas diárias do trabalho.". Ao todo foram obtidas 2 (duas) respostas, conforme pode ser visualizado na Tabela 94.

Tabela 94 – Justificativas da afirmação relacionada ao Princípio da Continuidade

Participante	Justificativa
Participante 1	Depende do nível do planejamento estratégico do qual se fala. No nível operacional seguir o processo é produtivo por se tratar de atividades de repetição e com poucas mudanças, o mesmo não se aplica para os níveis tático e estratégico.
Participante 2	Eu acho que é necessário fazer um projeto demo para poder tirar esse tipo de conclusão.

Fonte: A autora

Cada justifica apresenta um ponto de vista diferente, a primeira descreve que o processo somente poderá ser utilizado em nível operacional por se tratar de atividades de

repetição e com poucas mudanças além, do receio da aplicabilidade do processo no nível tático e estratégico no qual o dinamismo é algo intrínseco. Tendo em vista, justamente essa dinamicidade, que o processo SMIPP oferece mecanismos para auxiliar o gestor de ativos, tais como, 1) o processo é incremental, ou seja, o gestor não precisa partir do ponto inicial toda vez que desejar fazer uma priorização em vez disso, ele faz a primeira do início e posteriormente, pode alterar ou adicionar elementos na priorização já existente; 2) das 8 (oito) etapas do processo 4 (quatro) são automáticas; 3) a etapa 2 (Coletar e gerenciar os dados dos sistemas e componentes dos ativos) pode ser feita com auxílio da importação dos dados através de sistemas IoT, supervisorio, entre outros; 4) a ferramenta desenvolvida para ajudar na realização das simulações fornece cobertura a todas as etapas do processo, facilitando substancialmente a aplicabilidade do mesmo. Ademais, observa-se que a justificativa do participante 1 está equivocada ao afirmar que o processo SMIPP não se aplica aos níveis tático e estratégico pois, o objetivo do processo é justamente atuar auxiliando gestores de ativos na priorização das atividades de manutenção.

A segunda justifica aborda a necessidade da aplicação do processo SMIPP em um ambiente real por meio de um estudo de caso na indústria para só então, realizar uma análise com maior acurácia. Acredita-se que realmente existe essa necessidade porém, devido aos motivos anteriormente mencionados, infelizmente, não foi possível a realização desse experimento.

Continuando, a afirmação "Eu acho que o processo prejudica o desenvolvimento das competências pessoais do gestor de ativos.", foram obtidas 19 (dezenove) respostas. Conforme os resultados exibidos na Figura 85 a resposta que mais se destaca é discordo totalmente (47.37%; 9 respostas). Posteriormente, discordo parcialmente (31.58%; 6 respostas). Finalmente, não concordo nem discordo e concordo parcialmente (10.53%; 2 respostas).

Figura 85 – Eu acho que o processo prejudica o desenvolvimento das competências pessoais do gestor de ativos.

Resposta	Contagem	Porcentagem	20%	40%
Discordo totalmente	9	47.37%		
Discordo parcialmente	6	31.58%		
Não concordo nem discordo	2	10.53%		
Concordo parcialmente	2	10.53%		
Concordo totalmente	0	0%		
Total	19	n = 19		

Fonte: A autora

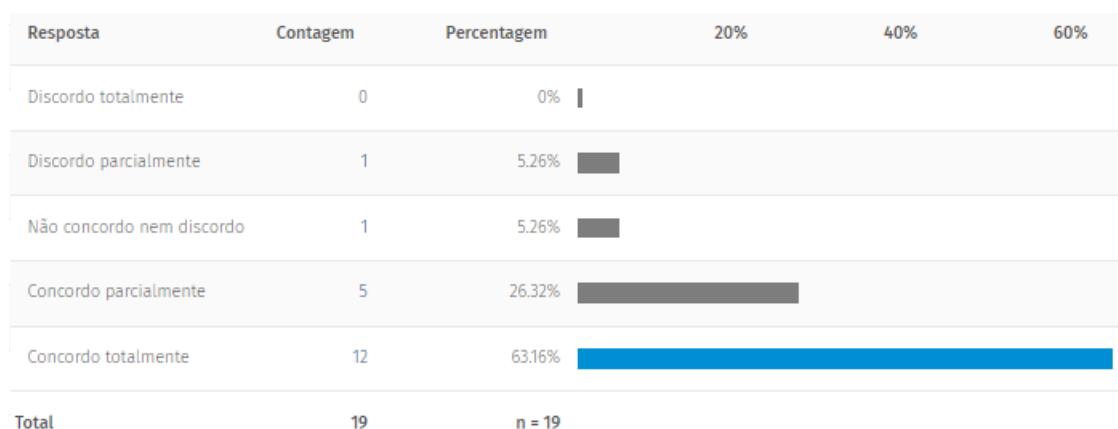
A afirmação anterior verifica a adesão do processo SMIPP ao princípio da capacitação. Os resultados mostram que a soma das respostas discordo parcialmente e totalmente correspondem a mais da metade dos respondentes (78.95%), indicando um resultado bastante positivo.

Para melhor entender a motivação de alguns participantes terem selecionado respostas diferentes de discordo totalmente ou parcialmente na afirmação anterior, solicitou-se para o participantes justificar sua resposta na próxima afirmação "Se a resposta da pergunta anterior for Concordo totalmente, Concordo parcialmente ou Não concordo nem discordo então, por favor descreva porque você acha que o processo prejudica o desenvolvimento das competências pessoais do gestor de ativos.". Infelizmente, não foram obtidas respostas.

Acredita-se que possivelmente os participantes imaginaram que seria necessário o gestor de ativos conhecer de técnicas de tomada de decisão MCDM e IA para utilizar o processo reduzindo assim o tempo dele para se aperfeiçoar na sua área específica do seu negócio. Na verdade, essa é uma visão equivocada pois, para utilizar o processo não é preciso ter esse tipo de conhecimento técnico inclusive, a ferramenta desenvolvida para realizar as simulações abstrai completamente isso para o gestor de ativos.

Mais adiante, a afirmação "Eu acho que o processo ajuda na integração dos diferentes departamentos da minha empresa (ex: financeiro, TI, engenharia).", foram obtidas 19 (dezenove) respostas. Conforme os resultados exibidos na Figura 86 a resposta que mais se destaca é concordo totalmente (63.16%; 12 respostas). Posteriormente, concordo parcialmente (26.32%; 5 respostas). Finalmente, não concordo nem discordo e discordo parcialmente (5.26%; 1 resposta).

Figura 86 – Eu acho que o processo ajuda na integração dos diferentes departamentos da minha empresa.



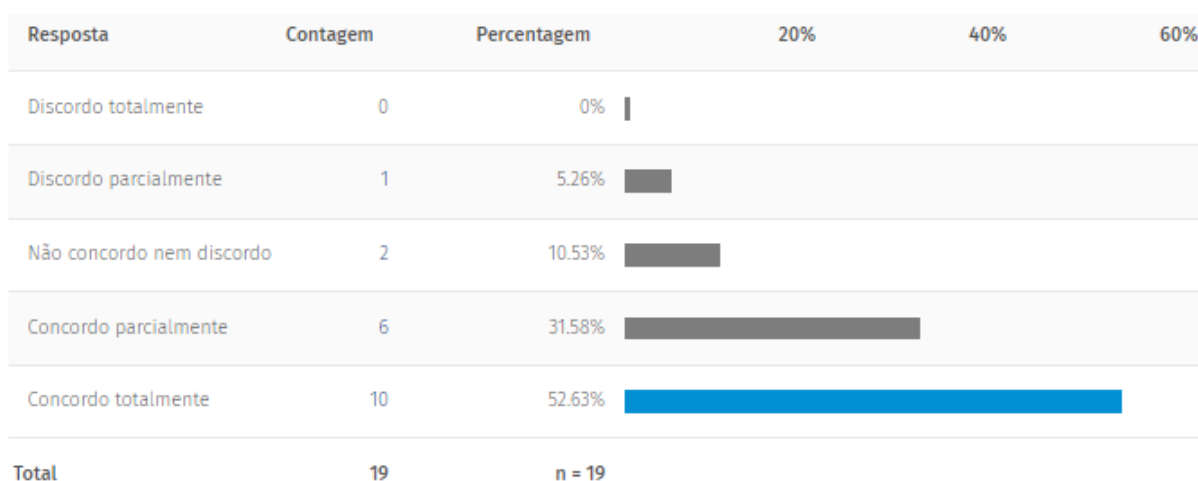
Fonte: A autora

A afirmação precedente verifica a conformidade do processo SMIPP ao princípio do holismo. Os resultados mostram que a soma das respostas concordo parcialmente e totalmente correspondem a quase todos os respondentes (89.51%), indicando um resultado

extremamente positivo. Acredita-se que a motivação de alguns participantes terem selecionado respostas diferentes de concordo totalmente ou parcialmente foi a impressão de que o processo atuaria apenas na área de gestão de manutenção onde na verdade, o mesmo calcula os custos das atividades de manutenção que envolve o setor financeiro, utiliza técnicas de inteligência artificial que envolve o setor de tecnologia da informação, além de envolver o setor de engenharia de forma geral.

Logo após, a afirmação "Eu utilizaria o processo na minha empresa.", foram obtidas 19 (dezenove) respostas. Conforme os resultados exibidos na Figura 87 a resposta que mais se destaca é concordo totalmente (52.63%; 10 respostas). Posteriormente, concordo parcialmente (31.58%; 6 respostas). Em seguida, não concordo nem discordo (10.53%; 2 respostas). Finalmente, discordo parcialmente (5.26%; 1 resposta).

Figura 87 – Eu utilizaria o processo na minha empresa.

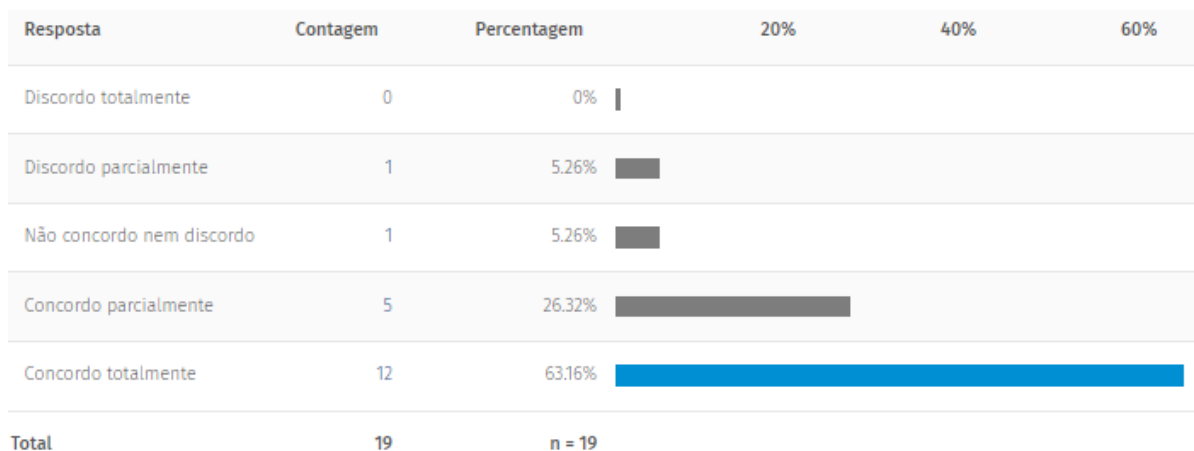


Fonte: A autora

A afirmação precedente verifica a conformidade do processo SMIPP ao princípio da institucionalização. Os resultados mostram que a soma das respostas concordo parcialmente e totalmente correspondem a quase todos os respondentes (84.21%), indicando um resultado extremamente positivo. Acredita-se que a motivação de alguns participantes terem selecionado respostas diferentes de concordo totalmente ou parcialmente se deve pelo receio de incorporar um novo processo que envolve recursos valiosos como tempo e orçamento.

Em seguida a afirmação "Eu acho que o processo engaja o gestor de ativos com os outros tomadores de decisão da empresa.", foram obtidas 19 (dezenove) respostas. Conforme os resultados exibidos na Figura 88 a resposta que mais se destaca é concordo totalmente (63.16%; 12 respostas). Posteriormente, concordo parcialmente (26.32%; 5 respostas). Finalmente, não concordo nem discordo e discordo parcialmente (5.26%; 1 resposta).

Figura 88 – Eu acho que o processo engaja o gestor de ativos com os outros tomadores de decisão da empresa.

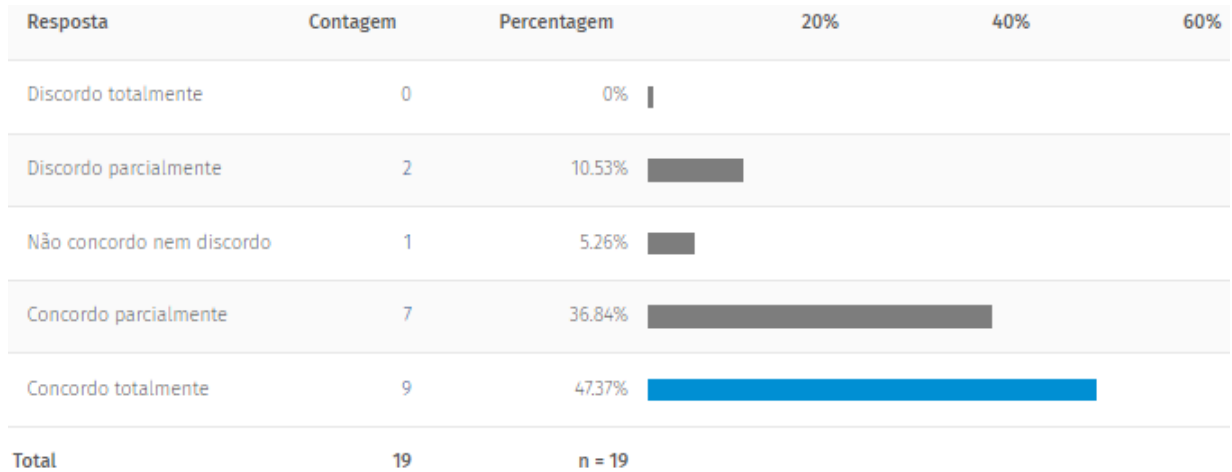


Fonte: A autora

A afirmação precedente verifica a conformidade do processo SMIPP ao princípio do envolvimento. Os resultados mostram que a soma das respostas concordo parcialmente e totalmente correspondem a quase todos os respondentes (89.48%), indicando um resultado extremamente positivo. Acredita-se que a motivação de alguns participantes terem selecionado respostas diferentes de concordo totalmente ou parcialmente foi a impressão de que o resultado final gerado pela priorização seria utilizado exclusivamente pelo gestor de ativos porém, na verdade este proporcionaria uma visão panorâmica para auxiliar tanto o gestor de ativos (indivíduo) como outros tomadores de decisão da corporação (grupo) para verificar os resultados, debater à respeito e, por fim, tomar uma decisão ou alterar algum parâmetro, repriorizar e analisar o novo resultado da priorização.

Na sequência a afirmação "Eu acho que a aplicação das tecnologias de inteligência artificial, no planejamento e execução da priorização de grupos de atividades de manutenção de sistemas multiativos homogêneos, ajuda a identificar agrupamentos capazes de maximizar o retorno do investimento em paradas de manutenção com restrições de tempo e orçamento.", foram obtidas 19 (dezenove) respostas. Conforme os resultados exibidos na Figura 89 a resposta que mais se destaca é concordo totalmente (47.37%; 9 respostas). Posteriormente, concordo parcialmente (36.84%; 7 respostas). Em seguida, discordo parcialmente (10.53%; 2 respostas). Finalmente, não concordo nem discordo (5.26%; 1 resposta).

Figura 89 – Eu acho que a aplicação das tecnologias de inteligência artificial, no planejamento e execução da priorização de grupos de atividades de manutenção de sistemas multiativos homogêneos, ajuda a identificar agrupamentos capazes de maximizar o retorno do investimento em paradas de manutenção com restrições de tempo e orçamento.

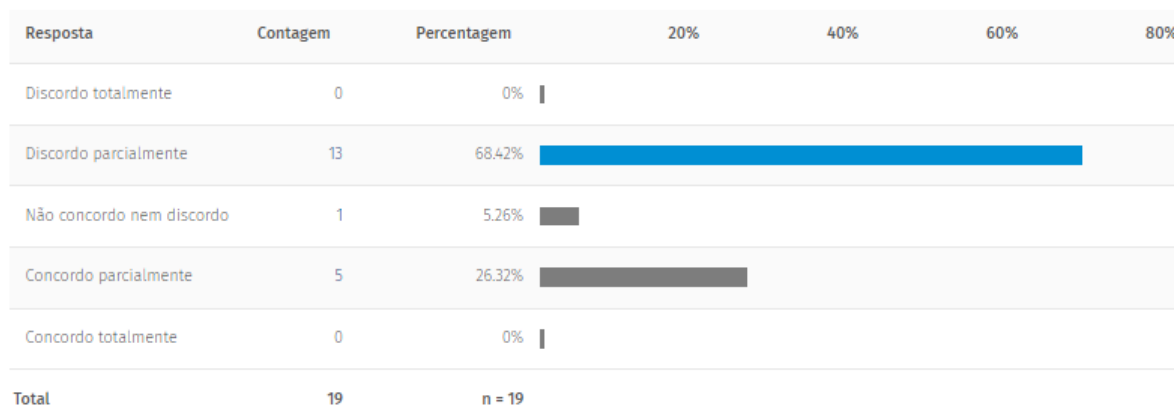


Fonte: A autora

A afirmação anterior analisa a concordância do processo SMIPP ao princípio da aplicação adequada da tecnologia. Os resultados mostram que a soma das respostas concordo parcialmente e totalmente correspondem a quase todos os respondentes (84.21%), indicando um resultado extremamente positivo. Acredita-se que a motivação de alguns participantes terem selecionado respostas diferentes de concordo totalmente ou parcialmente foi não perceberem com clareza os benefícios gerados pela aplicação das tecnologias de inteligência artificial na priorização, tais como, geração de grupos de atividades de manutenção de maior similaridade, agrupamentos de acordo com a análise da dependência econômica, entre outros.

Mais adiante, a afirmação "Eu acho que o processo é complexo.", foram obtidas 19 (dezenove) respostas. Conforme os resultados exibidos na Figura 90 a resposta que mais se destaca é discordo parcialmente (68.42%; 13 respostas). Posteriormente, concordo parcialmente (26.32%; 5 respostas). Finalmente, não concordo nem discordo (5.26%; 1 resposta).

Figura 90 – Eu acho que o processo é complexo.



Fonte: A autora

A afirmação anterior verifica a adesão do processo SMIPP ao princípio do entendimento conjunto. Os resultados mostram que as respostas discordo parcialmente correspondem a mais da metade dos respondentes (68.42%), indicando um resultado bastante positivo.

Para melhor entender a motivação de alguns participantes terem selecionado respostas diferentes de discordo totalmente ou parcialmente na afirmação anterior, solicitou-se para o participantes justificar sua resposta na próxima afirmação "Se a resposta da pergunta anterior for Concordo totalmente, Concordo parcialmente ou Não concordo nem discordo então, por favor descreva porque você acha que o processo é complexo.". Ao todo foram obtidas 4 (quatro) respostas, conforme pode ser visualizado na Tabela 95.

Tabela 95 – Justificativas da afirmação relacionada ao Princípio do Entendimento Conjunto

Participante	Justificativa
Participante 1	Muitas etapas, porém a ferramenta de apoio facilita muito, então no final das contas o fato de ter muitas etapas não é relevante, já que elas são automatizadas.
Participante 2	O processo parece ser complexo por conta da alta quantidade de papéis, atividades e artefatos envolvidos.
Participante 3	A análise e apropriação de diversos aspectos, protocolos, etapas, procedimentos e custos de manutenção na organização tem um preço inicial a ser pago em tempo e investimento, porém o retorno do esforço aparentemente compensa.
Participante 4	Exige boa definição das demandas e organização.

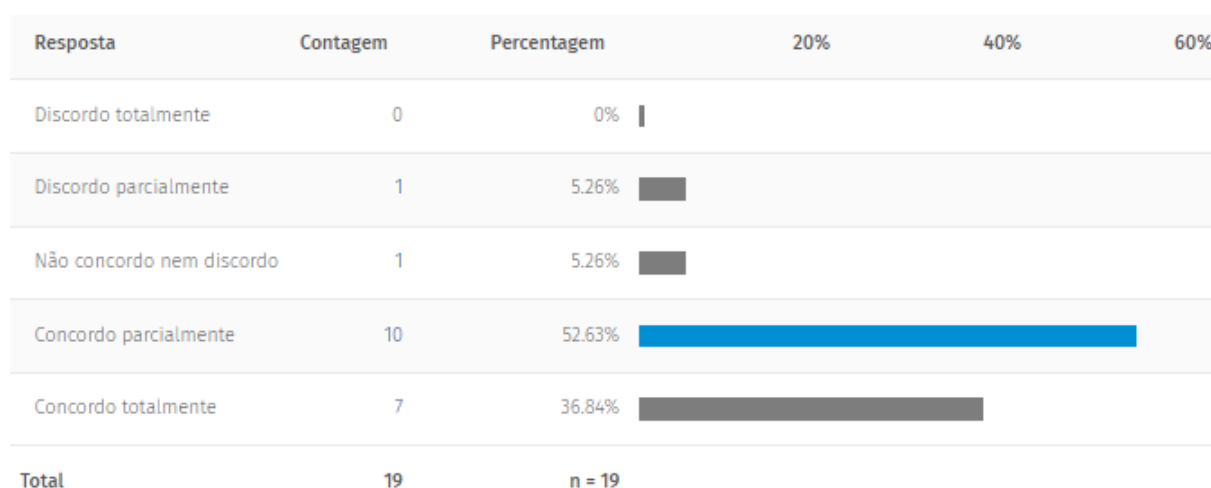
Fonte: A autora

As justificas indicam possíveis dificuldades devido ao processo ter muitas atividades, artefatos, fluxos, processos e subprocessos. De fato, o processo é grande mas, apesar disso ele oferece mecanismos para auxiliar o gestor de ativos, tais como, 1) o processo é incremental, ou seja, o gestor não precisa partir do ponto inicial toda vez que desejar fazer uma priorização em vez disso, ele faz a primeira do início e posteriormente, pode alterar ou adicionar elementos na priorização já existente; 2) das 8 (oito) etapas do processo 4 (quatro) são automáticas; 3) a etapa 2 (Coletar e gerenciar os dados dos sistemas e componentes dos ativos) pode ser feita com auxílio da importação dos dados através de sistemas IoT, supervisorio, entre outros; 4) a ferramenta desenvolvida para ajudar na realização das simulações fornece cobertura a todas as etapas do processo, facilitando substancialmente a aplicabilidade do mesmo.

Importante destacar que algumas das próprias justificativas também indicaram aspectos facilitadores do processo, como os mencionadas anteriormente. Outro ponto que merece ênfase é a necessidade de organização das informações por parte das empresas. Realmente, para aplicar o processo SMIPP com sucesso é necessário que os dados estejam disponíveis e organizados para que os mesmos sirvam de artefatos de entrada e saída do processo.

Mais à frente a afirmação "Eu acho que o processo forneceu resultados fáceis de entender.", foram obtidas 19 (dezenove) respostas. Conforme os resultados exibidos na Figura 91 a resposta que mais se destaca é concordo parcialmente (52.63%; 10 respostas). Posteriormente, concordo totalmente (36.84%; 7 respostas). Finalmente, não concordo nem discordo e discordo parcialmente (5.26%; 1 resposta).

Figura 91 – Eu acho que o processo forneceu resultados fáceis de entender.



Fonte: A autora

A afirmação anterior verifica a conformidade do processo SMIPP ao princípio do entendimento conjunto. Os resultados mostram que a soma das respostas concordo parcialmente

e totalmente correspondem a mais da metade dos respondentes (89.47%), apontando um resultado demasiadamente positivo. Portanto, apenas dois participantes afirmaram que não concordam nem discordam e discordam parcialmente. Acredita-se que possivelmente esses participantes não tenham compreendido o resultado gerado por algum artefato de saída.

Com relação a afirmação "Eu acho que a ordem das etapas do processo está correta.", foram obtidas 19 (dezenove) respostas. Conforme os resultados exibidos na Figura 92 a resposta que mais se destaca é concordo totalmente (78.95%; 15 respostas). Posteriormente, concordo parcialmente (10.53%; 2 respostas). Finalmente, não concordo nem discordo e discordo parcialmente (5.26%; 1 resposta).

Figura 92 – Eu acho que a ordem das etapas do processo está correta.

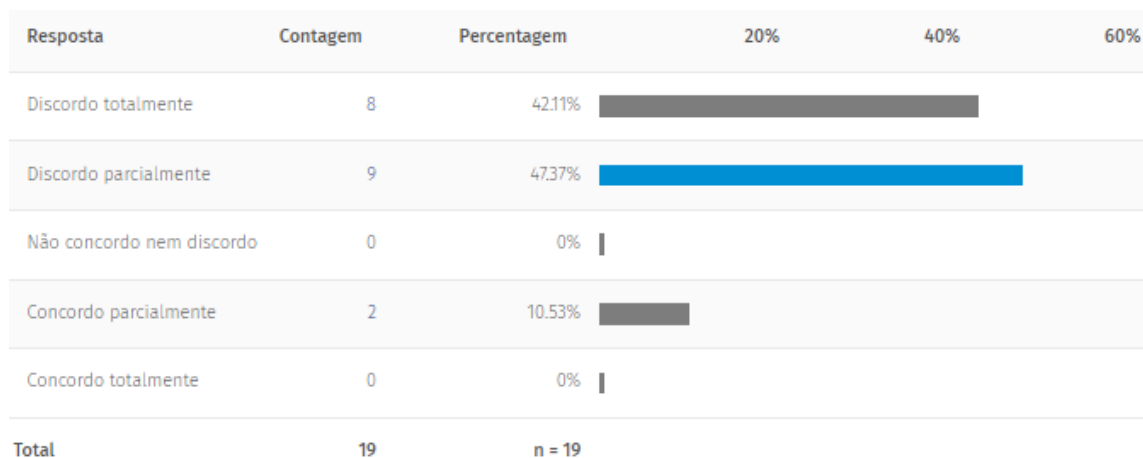
Resposta	Contagem	Porcentagem	20%	40%	60%	80%
Discordo totalmente	0	0%				
Discordo parcialmente	1	5.26%				
Não concordo nem discordo	1	5.26%				
Concordo parcialmente	2	10.53%				
Concordo totalmente	15	78.95%				
Total	19	n = 19				

Fonte: A autora

A afirmação anterior verifica a adesão do processo SMIPP ao princípio do entendimento conjunto. Os resultados mostram que a soma das respostas concordo parcialmente e totalmente correspondem a mais da metade dos respondentes (89.48%), apontando um resultado demasiadamente positivo. Portanto, apenas dois participantes afirmaram que não concordam nem discordam e discordam parcialmente. Acredita-se que possivelmente esses participantes não tenham entendido a sequência estabelecida para o fluxo das atividades. Infelizmente, eles não mandaram email tentando esclarecer suas dúvidas ou relatar suas dificuldades.

No que diz respeito a afirmação "Eu tive dificuldade em compreender os artefatos de entrada e saída do processo.", foram obtidas 19 (dezenove) respostas. Conforme os resultados exibidos na Figura 93 a resposta que mais se destaca é discordo parcialmente (47.37%; 9 respostas). Posteriormente, discordo totalmente (42.11%; 8 respostas). Finalmente, concordo parcialmente (10.53%; 2 respostas).

Figura 93 – Eu tive dificuldade em compreender os artefatos de entrada e saída do processo.



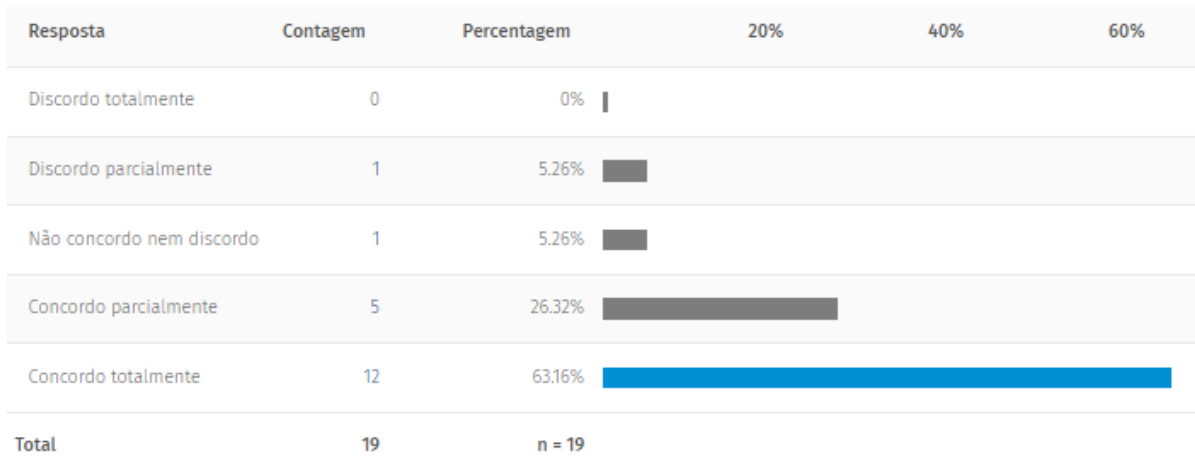
Fonte: A autora

A afirmação anterior analisa a concordância do processo SMIPP ao princípio do entendimento conjunto. Os resultados mostram que a soma das respostas discordo parcialmente e totalmente correspondem a mais da metade dos respondentes (89.48%), apontando um resultado demasiadamente positivo.

Para melhor entender a motivação de alguns participantes terem selecionado respostas diferentes de discordo totalmente ou parcialmente na afirmação anterior, solicitou-se para o participantes justificar sua resposta na próxima afirmação "Se a resposta da pergunta anterior for Concordo totalmente, Concordo parcialmente ou Não concordo nem discordo então, por favor descreva porque você teve dificuldade em compreender os artefatos de entrada e saída do processo.". Infelizmente, não foram obtidas respostas. Assim, considerando que apenas dois participantes afirmaram que concordavam parcialmente, acredita-se que possivelmente esses participantes não tenham compreendido a necessidade de algum artefato de entrada ou o resultado gerado por algum artefato de saída.

Sobre a afirmação "Eu acho que processo SMIPP ajuda na identificação dos agrupamentos de atividades de manutenção, de sistemas multiativos homogêneos, que ampliam o retorno do investimento em paradas de manutenção com restrições de tempo e orçamento.", foram obtidas 19 (dezenove) respostas. Conforme os resultados exibidos na Figura 94 a resposta que mais se destaca é concordo totalmente (63.16%; 12 respostas). Posteriormente, concordo parcialmente (26.32%; 5 respostas). Finalmente, não concordo nem discordo e discordo parcialmente (5.26%; 1 resposta).

Figura 94 – Eu acho que processo SMIPP ajuda na identificação dos agrupamentos de atividades de manutenção, de sistemas multiativos homogêneos, que amplificam o retorno do investimento em paradas de manutenção com restrições de tempo e orçamento.

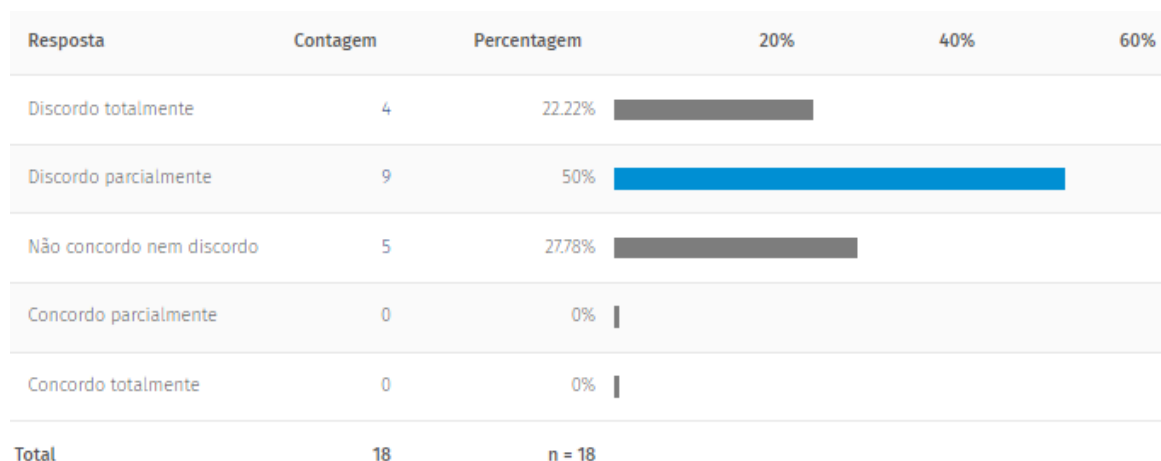


Fonte: A autora

A afirmação precedente verifica a conformidade do processo SMIPP ao princípio do propósito. Os resultados mostram que a soma das respostas concordo parcialmente e totalmente correspondem a quase todos os respondentes (89.48%), indicando um resultado extremamente positivo. Acredita-se que a motivação de alguns participantes terem selecionado respostas diferentes de concordo totalmente ou parcialmente foi a impressão de que o processo não fornece resultados que de fato proporcionam o reconhecimento dos grupos de atividades de manutenção que mais geram retorno financeiro no contexto de paradas de manutenção. É possível inferir inclusive, que esses mesmos participantes responderam discordando que os resultados são fáceis de entender, teve dificuldades de compreender os artefatos de entrada e saída e que a ordem do processo está correta. Infelizmente, esses participantes não mandaram email tentando esclarecer suas dúvidas ou relatar suas dificuldades.

Na sequência a afirmação "Eu acho que a quantidade de etapas do processo poderia ser reduzida.", foram obtidas 18 (dezenove) respostas. Conforme os resultados exibidos na Figura 95 a resposta que mais se destaca é discordo parcialmente (50%; 9 respostas). Posteriormente, não concordo nem discordo (27.78%; 5 respostas). Finalmente, discordo totalmente (22.22%; 4 respostas).

Figura 95 – Eu acho que a quantidade de etapas do processo poderia ser reduzida.



Fonte: A autora

A afirmação anterior verifica a adesão do processo SMIPP ao princípio da simplicidade. Os resultados mostram que as somas das respostas discordo parcialmente e totalmente correspondem a mais da metade dos respondentes (72.22%), indicando um resultado bastante positivo.

Para melhor entender a motivação de alguns participantes terem selecionado respostas diferentes de discordo totalmente ou parcialmente na afirmação anterior, solicitou-se para o participantes justificar sua resposta na próxima afirmação "Se a resposta da pergunta anterior for Concordo totalmente, Concordo parcialmente ou Não concordo nem discordo então, por favor descreva porque você acha que a quantidade de etapas do processo poderia ser reduzida.". Ao todo foram obtidas 2 (duas) respostas, conforme pode ser visualizado na Tabela 96.

Tabela 96 – Justificativas da afirmação relacionada ao Princípio da Simplicidade

Participante	Justificativa
Participante 1	Eu acho que só utilizando na prática é que poderia responder essa pergunta.
Participante 2	Se a quantidade de etapas puder ser reduzida pode ser positivo simplificar o processo. Porém apenas se for viável, se não trouxer prejuízo ao processo.

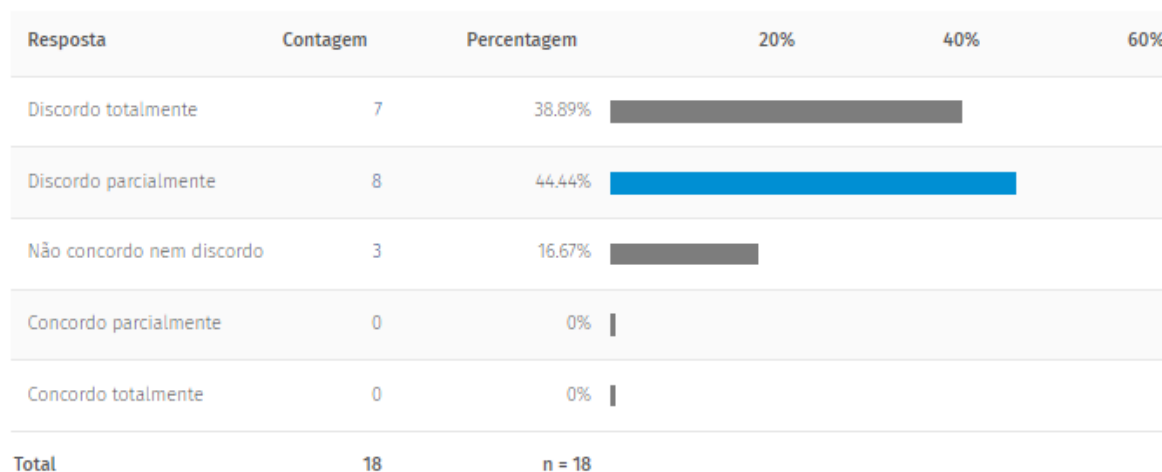
Fonte: A autora

As justificas indicam que alguns aspectos só poderão ser, de fato, determinados quando o processo for colocado na prática. E, o minimalismo quando possível é desejável. Acredita-se que seria bastante benéfico a aplicação do processo SMIPP em um ambiente real por meio de um estudo de caso na indústria para só então, realizar uma análise com maior

acurácia. Acredita-se que realmente existe essa necessidade porém, devido aos motivos anteriormente mencionados, infelizmente, não foi possível a realização desse experimento. E, em relação a outra justificativa, infelizmente o participante não exemplificou qual (is) etapa(s) poderiam ser reduzidas. Isso auxiliaria bastante no entendimento da afirmação de redução.

Continuando, a afirmação "Eu acho que a quantidade de etapas manuais do processo é exagerada.", foram obtidas 18 (dezenove) respostas. Conforme os resultados exibidos na Figura 96 a resposta que mais se destaca é discordo parcialmente (44.44%; 8 respostas). Posteriormente, discordo totalmente (38.89%; 7 respostas). Finalmente, não concordo nem discordo (16.67%; 3 respostas).

Figura 96 – Eu acho que a quantidade de etapas manuais do processo é exagerada.



Fonte: A autora

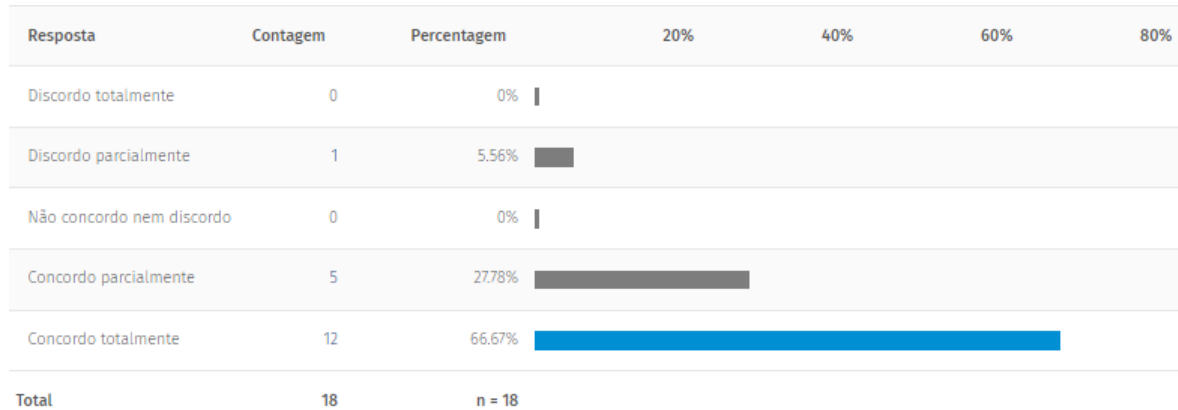
A afirmação anterior analisa a concordância do processo SMIPP ao princípio da simplicidade. Os resultados mostram que a soma das respostas discordo parcialmente e totalmente correspondem a mais da metade dos respondentes (83.33%), apontando um resultado demasiadamente positivo.

Para melhor entender a motivação de alguns participantes terem selecionado respostas diferentes de discordo totalmente ou parcialmente na afirmação anterior, solicitou-se para o participantes justificar sua resposta na próxima afirmação "Se a resposta da pergunta anterior for Concordo totalmente, Concordo parcialmente ou Não concordo nem discordo então, por favor descreva porque você acha que a quantidade de etapas manuais do processo é exagerada.". Infelizmente, não foram obtidas respostas. Assim, observou-se que apenas três participantes afirmaram que nem concordavam nem discordavam demonstrando assim, uma incerteza em relação a se quantidade de etapas manuais do processo é, realmente, exagerada.

Seguindo a afirmação "Eu acho que as etapas automáticas tornam o processo mais simples.", foram obtidas 18 (dezenove) respostas. Conforme os resultados exibidos na Fi-

gura 97 a resposta que mais se destaca é concordo totalmente (66.67%; 12 respostas). Posteriormente, concordo parcialmente (27.78%; 5 respostas). Finalmente, discordo parcialmente (5.56%; 1 resposta).

Figura 97 – Eu acho que as etapas automáticas tornam o processo mais simples.

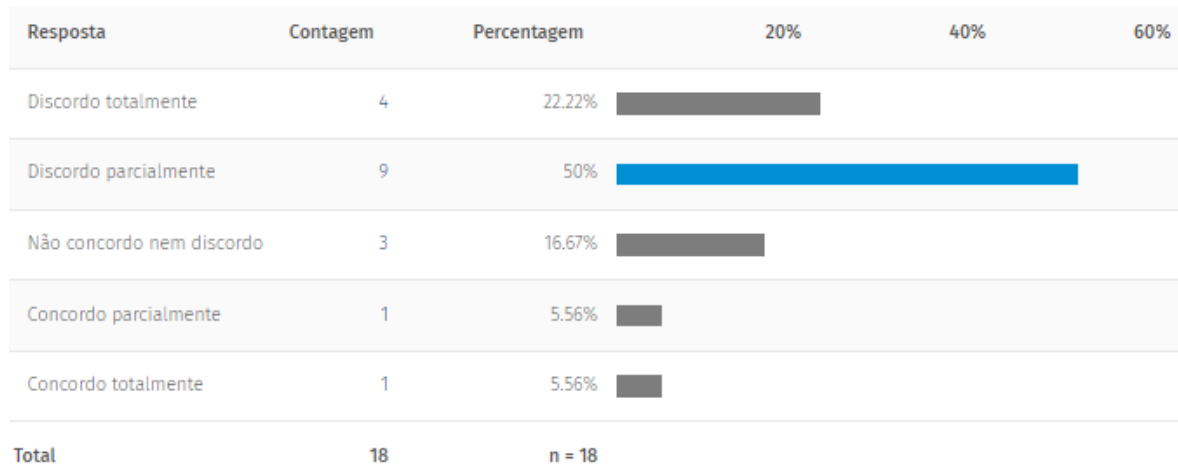


Fonte: A autora

A afirmação anterior verifica a conformidade do processo SMIPP ao princípio da simplicidade. Os resultados mostram que a soma das respostas concordo parcialmente e totalmente correspondem a mais da metade dos respondentes (94.45%), apontando um resultado demasiadamente positivo. Portanto, apenas um participante afirmou que discordava parcialmente. Acredita-se que possivelmente esse não tenha compreendido os benefícios gerados pela automação de algumas etapas do processo.

Em seguida a afirmação "Eu acho que algumas etapas obrigatórias poderiam ser opcionais.", foram obtidas 18 (dezenove) respostas. Conforme os resultados exibidos na Figura 98 a resposta que mais se destaca é discordo parcialmente (50%; 9 respostas). Posteriormente, discordo totalmente (22.22%; 4 respostas). Em seguida, não concordo nem discordo (16.67%; 3 respostas). Finalmente, concordo totalmente e concordo parcialmente (5.56%; 1 resposta).

Figura 98 – Eu acho que algumas etapas obrigatórias poderiam ser opcionais.



Fonte: A autora

A afirmação anterior verifica a conformidade do processo SMIPP ao princípio da simplicidade. Os resultados mostram que a soma das respostas discordo parcialmente e totalmente correspondem a mais da metade dos respondentes (72.22%), apontando um resultado demasiadamente positivo.

Para melhor entender a motivação de alguns participantes terem selecionado respostas diferentes de discordo totalmente ou parcialmente na afirmação anterior, solicitou-se para o participantes justificar sua resposta na próxima afirmação "Se a resposta da pergunta anterior for Concordo totalmente, Concordo parcialmente ou Não concordo nem discordo então, por favor descreva quais etapas obrigatórias poderiam ser opcionais.". Infelizmente, não foram obtidas respostas. Acredita-se que esses participantes não tenham compreendido corretamente que das 7 (sete) etapas obrigatórias apenas 3 (três) são manuais e dentro destas, a etapa 2 (Coletar e gerenciar os dados dos sistemas e componentes dos ativos) pode ser feita com auxílio da importação dos dados através de sistemas IoT, supervisorio, entre outros. Além disso, a ferramenta desenvolvida para ajudar na realização das simulações fornece cobertura a todas as etapas do processo, facilitando substancialmente a aplicabilidade do mesmo.

Por fim a afirmação "Fique à vontade para fornecer sua opinião, crítica ou sugestão de melhoria a respeito do processo SMIPP." gerou 5 (cinco) respostas, conforme pode ser visualizado na Tabela 97.

Tabela 97 – Justificativas da afirmação aberta

Participante	Justificativa
--------------	---------------

Participante 1	O processo se beneficia significativamente com o uso de técnicas de IA aprimorando suas etapas, e a participação do usuário (entrada de dados subjetivos) na etapa de priorização torna possível a inclusão de informações não previstas, o que é altamente benéfico.
Participante 2	Um exemplo de escopo aplicado a área pública.
Participante 3	Acredito que em termos de processos para execução do SMIPP, eles estejam bem definidos e bem estabelecidos. Acredito que o fato de utilizar a inteligência artificial para trabalhar com análise de dados, otimizando custos na gestão de ativos e levando-se em conta também uma possível integração com vários departamentos de uma empresa por exemplo, foi uma ótima ideia, deixando a parte de tomada de decisões com o usuário.
Participante 4	Adorei o processo e gostaria de testar em minha equipe.
Participante 5	Minha opinião é bastante positiva. A implementação desse processo tem proporcionado uma abordagem mais eficiente e inteligente para a manutenção preventiva. A priorização baseada em inteligência tem contribuído para a otimização do tempo e recursos durante os períodos de parada para manutenção, resultando em uma redução significativa de custos operacionais.

Fonte: A autora

As justificas indicam que alguns aspectos muito relevantes, tais como, o processo SMIPP foi construído com o objetivo de ser aplicável tanto no setor público quanto no privado porém, sabe-se que ao usar um novo processo em uma área específica poderão surgir situações peculiares não previstas que apenas a utilização na prática poderão apresentar. Devido a isso, um dos trabalhos futuros desta tese é além de realizar um estudo de caso com o processo SMIPP também, fazê-lo no setor público e privado a fim de comparar os resultados obtidos e analisá-los.

Vale salientar que todas as respostas foram positivas, destacando sempre os benefícios da utilização de tecnologias de IA no processo proposto. Isso demonstra um *feedback* bastante favorável a utilização do processo.

5.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo alcançou os objetivos específicos ObjEsp5 e ObjEsp6 por meio da apresentação, paulatina, da avaliação do processo SMIPP que foi composta por três simulações e um *survey* com especialistas. O objetivo das simulações foi verificar a aplicabilidade do

processo na prática, já no *survey* buscou-se verificar a aderência do SMIPP aos dez princípios de um bom gerenciamento de processo de negócio.

Antes da realização das simulações propriamente ditas uma série de passos foram feitos, tais como, busca e especificação da base de dados, concepção da simulações, configurações, diretrizes para analisar os resultados, implementação da ferramenta. Após as simulações verificou-se que nem sempre a hipótese nula de um determinado índice era rejeitada porém, esse resultado não pode ser analisado individualmente pois, os índices MII, BI e TI estão intrinsecamente ligados fato esse que faz com que o resultado de um influencie no resultado dos outros. Inclusive, constatou-se a necessidade de uma análise de sensibilidade para obter maior precisão em relação a inferência dos resultados.

Por outro lado, no *survey* todos os comentários dos participantes foram lidos e analisados a fim de entender a motivação das respostas. Apesar de não ter tido muitas respostas mas, os participantes se mostraram muito ativos, sempre fornecendo opiniões, críticas e sugestões valiosas. Por fim, os resultados mostram que respondentes de diferentes países participaram (Suécia, África do sul, Canadá, Honduras) não só do Brasil. Além disso, a maioria dos participantes apresentaram *feedbacks* bastante positivos chegando muitas vezes a mais de 80%.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo tem como objetivo apresentar o resumo das contribuições, limitações e as ameaças desta pesquisa, assim como apresentar as possibilidades para a realização dos trabalhos futuros.

6.1 CONCLUSÕES

Sabe-se que o objetivo principal das instituições é o de reduzir ao máximo os custos de manutenção dos ativos físicos, mitigando-se os impactos que possam existir na qualidade dos produtos ou serviços que sejam oferecidos ao cliente. Para tanto, as empresas buscam meios que as auxiliem na tomada de decisões mais satisfatórias para o negócio e que tragam diferencial competitivo em relação aos seus concorrentes. Isso fica mais evidente quando se trata de paradas de manutenção de ativos físicos, pois são situações em que o ativo deve estar momentaneamente indisponível para a realização das atividades de manutenção. Além disso, na maioria das vezes essas interrupções planejadas envolvem restrições temporais e orçamentárias de forma crítica fazendo com que, o planejamento adequado da priorização seja fundamental para que a mesma possa ser bem-sucedida.

Observou-se porém, nos estudos realizados, que embora bastante relevante, faltam abordagens que forneçam suporte a tomada de decisão, facilitando o planejamento e a execução da manutenção de ativos físicos durante paradas de manutenção. Assim, com o objetivo de complementar o conhecimento sobre como vem sendo conduzida a priorização na área de gestão de ativos, foi realizado um levantamento das principais abordagens existentes na literatura bem como seus aspectos, benefícios, restrições, ferramentas de apoio e formas de medição dos resultados. Dessa forma, através da ferramenta metodológica da Revisão Sistemática da Literatura, foi possível reunir evidências sobre essa lacuna, sobretudo quando se trata de sistemas multiativos onde se deseja maximizar o retorno do investimento. Com essa revisão observou-se que apesar de já existirem estudos nesse campo de pesquisa, poucos tinham como foco o alinhamento das políticas de manutenção dos ativos com as estratégias de negócio das organizações através do planejamento e execução da priorização de atividades de manutenção. Identificou-se, assim, a carência de uma abordagem única capaz de guiar o gestor de ativos para a forma mais benéfica e menos custosa de executar as atividades de manutenção.

Com o intuito de se aprofundar mais nessa problemática, foi realizado o *snowballing* da revisão sistemática e, como resultado foi encontrado um *framework* chamado SMPF que prioriza atividades de manutenção, de um ativo físico, que serão realizadas durante parada de manutenção, em cenários com restrições de orçamento e/ou tempo. Ao verificar, detalhadamente, os passos que formam o *framework* foram encontradas as seguintes

lacunas, 1) agrupar as atividades de manutenção sem considerar o volume de dados coletados, os padrões embutido nos dados e as propriedades disponíveis, 2) ignorar a análise da dependência econômica, 3) impossibilitar a aplicação do método MCDM AHP devido 3.1) ao problema do *ranking* reverso e, 3.2) a incerteza e subjetividade na comparação em pares, 4) priorizar apenas um ativo e, 5) desconsiderar repriorização.

Tendo em vista as lacunas identificadas nesse contexto, não havia sido encontrado, até aquele momento, nenhum trabalho na literatura que suprimisse-as portanto, foi desenvolvido nesta tese um processo, chamado SMIPP (do inglês Shutdown Maintenance Intelligent Prioritisation Process), que tem como objetivo ajudar na identificação dos agrupamentos de atividades de manutenção, de sistemas multiativos homogêneos, que amplificam o retorno do investimento em paradas de manutenção com restrições de tempo e orçamento. O processo SMIPP é iterativo e incremental e aplica tecnologias de IA no planejamento e execução da priorização de grupos de atividades de manutenção. Além disso, importante salientar que ele teve como inspiração a ISO 55000 para sua elaboração. Esse processo contempla oito etapas onde se tem que: i) sete etapas são obrigatórias e apenas uma é opcional; ii) quatro das etapas são manuais e as demais automáticas; iii) seis etapas tratam do planejamento enquanto duas etapas tratam da execução da priorização. Portanto, o processo SMIPP é composto por etapas que fornecem suporte ao gestor de ativos por meio do planejamento tático e da execução da priorização. O processo SMIPP trás como benefício amplificar o retorno do investimento em paradas de manutenção com restrições de tempo e orçamento através da identificação de quais agrupamentos de atividade de manutenção são mais vantajosos e com isso é possível reduzir o custo e tempo das paradas de manutenção.

A avaliação do processo SMIPP proposto foi realizada através de três simulações e um *survey* com especialistas. A finalidade das simulações foi a de analisar a aplicabilidade do processo. Por outro lado, o *survey* teve como objetivo investigar a aderência do SMIPP aos dez princípios de um bom gerenciamento de processo de negócio. Com as simulações foi possível verificar resultados positivos pois, houveram muitas situações em que a hipótese nula dos testes foram rejeitadas. Além disso, é importante enfatizar que esses resultados não devem ser observados individualmente pois, os índices MII, BI e TI estão intrinsecamente relacionados, observando-se influência uns por sobre os outros. No que diz respeito ao *survey* os participantes interagiram bastante com os comentários, fornecendo opiniões, críticas e sugestões pertinentes. Além disso, os indicadores apresentaram resultados positivos indicando que os participantes utilizariam o processo na sua empresa, que o processo ajuda na integração dos diferentes departamentos da empresa, engaja o gestor de ativos com os outros tomadores de decisão, entre outros aspectos avaliados.

6.2 CONTRIBUIÇÕES DA TESE

As principais contribuições desta tese estão relacionadas aos resultados obtidos por meio da realização da RSL, da proposta do processo SMIPP e da ferramenta de apoio. Assim, é possível destacar os seguintes itens:

- Cumprimento do objetivo específico ObjEsp1 por meio do levantamento na literatura à respeito do estado da arte das três áreas que abrangem essa pesquisa (análise multicritério de apoio à decisão, inteligência artificial e gestão de ativos) por meio da RSL. Ela mostrou que uma pequena quantidade de métodos MCDM (apenas quatro) são utilizados e suportados de forma inteligente dentro da área de gestão de ativos. Além disso, somente nove estudos (10,98%) identificados especificam de forma mais minuciosa as etapas das suas contribuições. Isso faz com que se torne mais complexo o entendimento e a reprodução do procedimento que foi adotado para obtenção dos resultados, bem como da ordenação e sistematização das tarefas envolvidas. Além disso, a RSL apresentou uma lacuna de abordagens para apoiar o alinhamento das políticas de manutenção dos ativos com as estratégias de negócio das organizações através do planejamento e execução da priorização de atividades de manutenção;
- Realização do objetivo específico ObjEsp1 através da identificação das abordagens existentes, características, métricas, ferramentas e configurações que são utilizadas na priorização para auxiliar na amplificação do retorno do investimento em paradas de manutenção com restrições de tempo e orçamento. Além dos itens já citados também foram identificadas lacunas através da aplicação de uma Revisão Sistemática da Literatura que percorreu sobre como a priorização inteligente é aplicada na área de gestão de ativos;
- Conclusão do objetivo específico ObjEsp1 mediante análise das etapas, fluxos, condicionais, papéis, pré-requisitos e artefatos (tanto essenciais como obrigatórios) que compõem as abordagens identificadas anteriormente que se mostraram mais afins com essa pesquisa e que, posteriormente, foram classificados como trabalhos relacionados;
- Alcance dos objetivos específicos ObjEsp2 e ObjEsp3 por meio do desenvolvimento de um processo chamado SMIPP iterativo e incremental, formado por oito etapas que aplica tecnologias de IA no planejamento e execução da priorização de grupos de atividades de manutenção de sistemas multiativos homogêneos em paradas de manutenção com restrições de tempo e orçamento;
- Realização do objetivo específico ObjEsp4 através da implementação de uma ferramenta de apoio para auxiliar na avaliação do processo SMIPP, a qual foi utilizada

para executar as simulações I, II e III. Essa ferramenta é um sistema web que foi construído na linguagem Python, com uma interface gráfica feita no *framework* Django, na arquitetura MVT. Ela possui cinco menus, Ativo, Atividade de manutenção, Decisões estratégicas, Priorização e Ajuda. Ao clicar em cada menu, um submenu é expandido exibindo as várias funcionalidades disponíveis, dentre elas, Cadastro de usuário, CRUD e detalhes do Ativo, Cadastro de componentes, Consulta de atividades de manutenção, CRUD e Detalhes dados estratégicos. Além de também possuir uma documentação no menu Ajuda. Os detalhes da ferramenta encontram-se no Apêndice L de acordo com as telas e informações que são exibidas para o usuário no sistema;

- Cumprimento dos objetivos específicos ObjEsp5 e ObjEsp6 por meio da investigação da aplicabilidade do processo proposto na prática por meio da execução de três simulações distintas que utilizaram a ferramenta de apoio desenvolvida neste trabalho;
- Alcance dos objetivos específicos ObjEsp5 e ObjEsp6 através da verificação da aderência do processo SMIPP aos dez princípios de um bom gerenciamento de processo de negócio através da aplicação de um *survey* com especialistas que foi realizado tanto no idioma português como no inglês bem como no ambiente da academia assim como na indústria;

6.3 COMPARAÇÃO COM OS TRABALHOS RELACIONADOS

A Tabela 98 exibe uma comparação entre as características de Tam e Price (2008a), Tam e Price (2008b), Swart (2015) e o fruto desta tese. Salientado a evolução que a priorização das atividades de manutenção sofreu ao longo das pesquisas até alcançar a proposta desta tese, o processo SMIPP, explicado em detalhes no Capítulo 4. Importante destacar que o símbolo – significa que não foi feita nenhuma menção da característica no decorrer de todo o trabalho.

Tabela 98 – Características dos trabalhos relacionados

Características	Trabalhos Relacionados			
	Tam e Price (TAM; PRICE, 2008a)	Tam e Price (TAM; PRICE, 2008b)	Swart (SWART, 2015)	Flório (SMIPP) ¹
Tipo de contribuição	<i>Framework</i>	<i>Framework</i>	<i>Framework</i>	Processo
Quantidade total de etapas	-	-	7	8

¹ Fruto desta tese

Quantidade de etapas obrigatórias	-	-	-	7
Quantidade de etapas opcionais	-	-	-	1
Quantidade de etapas manuais	-	-	-	4
Quantidade de etapas automáticas	-	-	-	4
Quantidade de ativos selecionados por priorização	-	-	1	sistemas multiativos homogêneos
Distribuição estatística para calcular a probabilidade de falha do ativo	-	-	<i>Weibull</i>	<i>Weibull</i>
Detalha as etapas para planejar e executar a priorização	Não	Não	Sim	Sim
CrITÉRIOS da priorização	Custo da dimensão produção, risco e recurso	Índice Tempo, Orçamento e Investimento na manutenção	Índice Tempo, Orçamento e Investimento na manutenção	Índice Tempo, Orçamento e Investimento na manutenção
Alternativas da priorização	Atividades de manutenção agrupadas em pacotes de manutenção	Atividades de manutenção agrupadas em pacotes de manutenção	Grupos de atividades de manutenção	Grupos de atividades de manutenção
Método multicritério de apoio à decisão aplicado na priorização	-	-	Função de valor aditiva e multiplicativa, ELECTRE II e PROMETHEE II	AHP

Categoria do método multicritério de apoio à decisão	-	-	Outranking ou escola francesa (ELECTRE II e PROMETHEE II) e Agregação total, função de valor ou escola americana (Função de valor aditiva e multiplicativa)	Agregação total, função de valor ou escola americana (AHP)
Permite interação com os tomadores de decisão	-	-	Não	Sim
Trata o problema do <i>ranking</i> reverso	Não	Não	Não	Sim
Lida com a incerteza e subjetividade na comparação em pares	Não	Não	Não	Sim
Analisa a dependência econômica entre os componentes dos ativos	Não	Não	Não	Sim
Considera os custos associados as tarefas preparatórias das atividades de manutenção	Não	Não	Não	Sim
Suporta repriorização	Não	Não	Não	Sim
Utiliza tecnologia de IA para agrupar as atividades de manutenção	Não	Não	Não	Clusterização com k-means

Utiliza tecnologia de IA para analisar a dependência econômica	Não	Não	Não	Algoritmo de otimização <i>ag</i>
Utiliza tecnologia de IA para lidar com a incerteza e subjetividade na comparação em pares	Não	Não	Não	Lógica <i>Fuzzy</i>
Mecanismo usado para calcular os pesos dos critérios e das alternativas	Não	Não	Função de valor aditiva e multiplicativa, ELECTRE II e PROMETHEE II	Implementações do algoritmo FAHP (<i>Geometric Mean Method</i> e <i>Fuzzy Extent Analysis</i>)
Mecanismo usado para tratar o problema do <i>ranking</i> reverso	Não	Não	Não	Interpolação linear
Ferramenta de apoio	-	-	-	Sim

Fonte: A autora

Como resultado observou-se que dos três trabalhos selecionados apenas um deles, agrupa as atividades de manutenção e utiliza MCDM na priorização de atividade de manutenção (SWART, 2015). Infelizmente, foi constatado que nenhum deles, 1) considera o volume de dados coletados, os padrões embutido nos dados e as propriedades disponíveis no agrupamento das atividades de manutenção, 2) analisa a dependência econômica entre os componentes dos ativos, 3) trata o problema do *ranking* reverso, 4) lida com a incerteza e subjetividade na comparação em pares, 5) prioriza mais de um ativo e, 6) suporta repriorização. Além disso, nenhum dos trabalhos relacionados utiliza ferramenta de apoio.

6.4 LIMITAÇÕES E AMEAÇAS

Algumas limitações e ameaças à validade relacionadas ao desenvolvimento, validação do processo SMIPP e, conseqüentemente, a ferramenta de apoio proposta. Entre as ameaças e limitações estão:

- A primeira execução do processo SMIPP precisa ser realizada na exata ordem em

que está descrito no processo; Após isso, ou seja, da segunda execução em diante as etapas poderão ser transpostas e os artefatos de saída incrementados;

- Quando o número de atividades de manutenção é pequeno os resultados gerados pelo processo SMIPP não são confiáveis pois, as tecnologias de IA ficam enviesadas;
- Pelo fato da distribuição de *Weibull* ser amplamente utilizada na literatura para calcular a probabilidade de falha dos ativos, o processo proposto usou esta distribuição estatística;
- As estruturas de agrupamento geradas possuem atividades de manutenção com diversas características em comum entre elas a mesma tarefa preparatória. Optou-se por utilizar essa abordagem por ela ser amplamente difundida e aplicada no ambiente acadêmico e na indústria;
- O processo considera, como premissa, que as informações dos ativos, sistemas e componentes já estão disponíveis através das fontes de dados para que o tomador de decisão possa selecionar o(s) ativos(s) que ele julgar mais interessante e assim, ter subsídio para iniciar a Etapa 1 do processo;
- Ao todo, para executar o processo inteiramente, é preciso dispor de vários dados de entrada para produzir diversos dados de saída. Esse é um volume demasiadamente grande de informações não triviais que precisam ser obtidas e processadas. E, em muitas situações do mundo real, as empresas não possuem todos esses dados disponíveis ou quando dispõem estes são de baixa qualidade, podendo assim comprometer o resultado gerado pelo processo. Além disso, os dados também podem ser sigilosos fato que poderá impedir a divulgação deles para o gestor de ativos;
- O processo proposto agrupa atividades de manutenção exclusivamente de sistemas multiativos homogêneos devido a esse tipo de sistema apresentar grandes similaridades entre si e consequentemente, nas atividades de manutenção que são realizadas;
- Embora o método MCDM inteligente, FAHP, possua diversas citações e seja aplicado em vários contextos diferentes para priorização dos mais diferentes elementos, o método MCDM AHP foi a única utilizada para priorizar as estruturas de agrupamentos que formam os grupos de atividades de manutenção.
- Além do já mencionado no item anterior, o FAHP possui uma limitação de contemplar no máximo, 9 (nove) alternativas por priorização. O autor deste método afirma que mais de 9 (nove) alternativas tornará a priorização muito trabalhosa e poderá gerar resultados inconsistentes. Como, a priorização executada no processo proposto utiliza o método MCDM inteligente FAHP então, ela também abrange essa limitação;

- Lógica *fuzzy*, *k-means* e algoritmo genético são as tecnologias de IA aplicadas no processo SMIPP, respectivamente, para lidar com a incerteza e subjetividade na tomada de decisão, *clusterizar* grupos de atividades de manutenção de maior similaridade e analisar a dependência econômicas dos ativos. Outras tecnologias de IA não são usadas;
- No SMIPP a análise da dependência realizada entre os ativos é a econômica. Todos os outros tipos de dependências (estocástica, estrutural, técnica, de desempenho, recurso, de múltiplos tipos) não são contempladas;
- A ferramenta de apoio usada nessa pesquisa foi desenvolvida exclusivamente pela autora deste trabalho e, ainda que, esta seja uma analista de sistemas com conhecimento e experiência em desenvolvimento de *software*, a mesma não dispôs de tempo hábil para refinar a ferramenta de modo que a mesma possa ser amplamente divulgada e disponibilizada ao público. Para isso, seria necessário primeiramente que a mesma fosse analisada, testada e possivelmente refinada em se tratando dos seus requisitos funcionais, de qualidade e também da experiência com o usuário.

6.5 TRABALHOS FUTUROS

Pretende-se como trabalhos futuros, desenvolver melhorias no processo SMIPP e na ferramenta de apoio levando em consideração os resultados obtidos através das simulações e do *survey*. Assim, as seguintes possibilidades podem ser exploradas:

- Analisar a rastreabilidade e a aderência desta tese em relação a ISO 55000;
- Aplicar distribuições estatísticas diferente da *Weibull* para calcular a probabilidade de falha dos ativos, tais como, exponencial, lognormal e gama;
- Investigar o comportamento do processo proposto com atividades de manutenção que possuem mais de uma tarefa preparatória e com tarefas divergentes;
- Incorporar pesos aos *stakeholders* nos cálculos feitos no processo, como já ocorre com as alternativas;
- Utilizar outros algoritmos de otimização diferentes do algoritmo genético para fazer análise da dependência econômica, como por exemplo, enxame de partículas, colônia de formigas, etc;
- Analisar outros tipos de dependência, como, estocástica, estrutural, de recursos, de desempenho, entre outras;
- Adaptar o processo a mais de um tipo de dependência ao mesmo tempo (múltiplas dependências);

-
- Aplicar outros algoritmos de clusterização diferentes do *kmeans* baseado em centróide para fazer o agrupamento das atividades de manutenção, tais como, clusterização baseada em densidades, baseada em distribuições, hierárquica, entre outros;
 - Realizar experimentos com outros métodos MCDM inteligente além do FAHP, como por exemplo, *FVikor*, *FTopsis*, entre outros;
 - Adequar o SMIPP para suportar mais de um método MCDM inteligente em passos diferentes da priorização, exemplo, FAHP para calcular os pesos dos critérios e *FTopsis* para o peso das alternativas;
 - Utilizar clusterização para priorizar mais de 9 (nove) alternativas no método MCDM inteligente FAHP;
 - Adicionar mecanismos inteligentes no processo que auxiliem o tomador de decisão a escolher o método MCDM mais adequado ao contexto da priorização;
 - Analisar a dependência entre as atividades de manutenção inclusive, o caminho crítico entre as atividades;
 - Experimentar o processo proposto em outro estudo de caso com ativos de diferentes domínios de aplicação, tais como, aviões, veículos marítimos, etc. Inclusive, antes de aplicar o processo, seria pertinente ter reuniões com alguns especialistas, para aperfeiçoar o processo antes de colocá-lo em prática;
 - Analisar a viabilidade de adaptar o processo proposto para sistemas multiativos heterogêneos de única categoria e multi-categoria;
 - Verificar a viabilidade de ajustar o SMIPP para sistemas multiativos geograficamente distribuídos;
 - Investigar a viabilidade de adaptar o processo para outros contextos além de paradas de manutenção;
 - Aprimorar os requisitos funcionais, de qualidade e também da experiência com o usuário com a ferramenta de apoio;
 - Publicar artigo com a proposta da tese.

REFERÊNCIAS

- ABASTANTE, F.; CORRENTE, S.; GRECO, S.; ISHIZAKA, A.; LAMI, I. M. A new parsimonious ahp methodology: Assigning priorities to many objects by comparing pairwise few reference objects. *Expert Systems with Applications*, Elsevier, v. 127, p. 109–120, 2019.
- ABRAMAN. *ISO 55.000: A FUTURA NORMA INTERNACIONAL*. 2016. <<http://www.abraman.org.br/noticias/iso-55-000-a-futura-norma-internacional->>. Accessed: 2018-06-07.
- ACHIMUGU, P.; SELAMAT, A.; IBRAHIM, R.; MAHRIN, M. N. A systematic literature review of software requirements prioritization research. *Information and Software Technology*, Elsevier, v. 56, n. 6, p. 568–585, 2014.
- ADALI, E. A.; IŞIK, A. T.; KUNDAKCI, N. An alternative approach based on fuzzy promethee method for the supplier selection problem. *Growing Science*, 2016.
- AFFUL-DADZIE, E.; NABARESEH, S.; OPLATKOVÁ, Z. K. Fuzzy vikor approach: Evaluating quality of internet health information. p. 183–190, 2014.
- AFOLAYAN, A. H.; OJOKOH, B. A.; ADETUNMBI, A. O. Performance analysis of fuzzy analytic hierarchy process multi-criteria decision support models for contractor selection. *Scientific African*, Elsevier, v. 9, p. e00471, 2020.
- AGARWAL, D.; SINGHOLI, A. K. Performance analysis of a flp problem using ahp-topsis and fahp-ftopsis. *International Journal of Industrial and Systems Engineering*, Inderscience Publishers (IEL), v. 30, n. 4, p. 401–424, 2018.
- AHMED, F.; KILIC, K. Fuzzy analytic hierarchy process: A performance analysis of various algorithms. *Fuzzy Sets and Systems*, Elsevier, v. 362, p. 110–128, 2019.
- AKBAR, M. A.; NAVEED, W.; MAHMOOD, S.; ALSANAD, A. A.; ALSANAD, A.; GUMAEI, A.; MATEEN, A. Prioritization based taxonomy of devops challenges using fuzzy ahp analysis. *IEEE Access*, IEEE, v. 8, p. 202487–202507, 2020.
- AKCAN, S.; GÜLDEŞ, M. Integrated multicriteria decision-making methods to solve supplier selection problem: a case study in a hospital. *Journal of healthcare engineering*, Hindawi, v. 2019, 2019.
- ALBAHRI, A. S.; HAMID, R. A.; ALBAHRI, O. S.; ZAIDAN, A. Detection-based prioritisation: Framework of multi-laboratory characteristics for asymptomatic covid-19 carriers based on integrated entropy-topsis methods. *Artificial intelligence in medicine*, Elsevier, v. 111, p. 101983, 2021.
- ALDHUBAIB, H.; SALAMA, M. A novel approach to investigate the effect of maintenance on the replacement time for transformers. *IEEE Transactions on Power Delivery*, v. 29, n. 4, p. 1603–1612, 2014. Cited By 9. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84905052593&doi=10.1109%2fTPWRD.2014.2321409&partnerID=40&md5=f06d30ba06a976980b507d0d463c3fe4>>.

- ALKHWLANI, M. M.; AYESH, A. Access network selection using combined fuzzy control and mcdm in heterogeneous networks. In: *2007 International Conference on Computer Engineering Systems*. [S.l.: s.n.], 2007. p. 108–113.
- ALMAHDI, E.; ZAIDAN, A.; ZAIDAN, B.; ALSALEM, M.; ALBAHRI, O. S.; ALBAHRI, A. S. Mobile-based patient monitoring systems: A prioritisation framework using multi-criteria decision-making techniques. *Journal of medical systems*, Springer, v. 43, n. 7, p. 1–19, 2019.
- ALON, N.; SPENCER, J. H. *The probabilistic method*. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2016.
- ALSHAMRANI, A.; BAHATTAB, A. A comparison between three sdlc models waterfall model, spiral model, and incremental/iterative model. *International Journal of Computer Science Issues (IJCSI)*, v. 12, n. 1, p. 106, 2015.
- ALY, M. F.; EL-HAMEED, H.; ABD, M. Integrating ahp and genetic algorithm model adopted for personal selection. *International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT)*, Citeseer, v. 6, n. 5, 2013.
- ANTUCHEVICIENE, J.; KALA, Z.; MARZOUK, M.; VAIDOGAS, E. R. Solving civil engineering problems by means of fuzzy and stochastic mcdm methods: current state and future research. *Mathematical problems in engineering*, Hindawi, v. 2015, 2015.
- ARRIETA, A. B.; DÍAZ-RODRÍGUEZ, N.; SER, J. D.; BENNETOT, A.; TABIK, S.; BARBADO, A.; GARCÍA, S.; GIL-LÓPEZ, S.; MOLINA, D.; BENJAMINS, R. et al. Explainable artificial intelligence (xai): Concepts, taxonomies, opportunities and challenges toward responsible ai. *arXiv preprint arXiv:1910.10045*, 2019.
- ARUEIRA, A. de B. *Aplicação do Método AHP para Avaliação de Transportadores*. Tese (Doutorado) — PUC-Rio, 2014.
- ATEF, A.; OSMAN, H.; MOSELHI, O. Optimizing budget allocation for condition assessment of water and sewer infrastructures. In: . Ottawa, ON, Canada: [s.n.], 2011. v. 3, p. 2000 – 2009. Condition assessments; Inspection reliability; Integral components; Management programs; Optimal strategies; Partially observable Markov decision process; Physical conditions; Sewer infrastructure;.
- ATTADEMO, R.; TORRES, G. L.; MOAES, C.; SILVA, L. B. da. Sistema inteligente de apoio à tomada de decisão na operação e manutenção de transformadores de força, potencial e corrente. 2005.
- AU-YONG, C. P.; CHUA, S. J. L.; ALI, A. S.; TUCKER, M. Optimising maintenance cost by prioritising maintenance of facilities services in residential buildings. *Engineering, Construction and Architectural Management*, Emerald Publishing Limited, 2019.
- AYHAN, M. B. A fuzzy ahp approach for supplier selection problem: A case study in a gear motor company. *arXiv preprint arXiv:1311.2886*, 2013.
- BAI, Q.; LABI, S.; SINHA, K. Trade-off analysis for multiobjective optimization in transportation asset management by generating pareto frontiers using extreme points nondominated sorting genetic algorithm ii. *Journal of Transportation Engineering*, v. 138, n. 6, p. 798–808, 2012. Cited By 15. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84862203592&doi=10.1061%2F%28ASCE%29TE.1943-5436.0000369&partnerID=40&md5=26bdc2317b47adf74732eade5ec017be>>.

- BARBOSA, C. H. N. de R. *Reconfiguração e Restauração Ótima de Sistemas de Distribuição Primária de Energia Elétrica*. Tese (Doutorado) — UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS, 2012.
- BELLMAN, R. E.; ZADEH, L. A. Decision-making in a fuzzy environment. *Management science*, INFORMS, v. 17, n. 4, p. B-141, 1970.
- BELTON, V.; STEWART, T. *Multiple criteria decision analysis: an integrated approach*. [S.l.]: Springer Science & Business Media, 2002.
- BENDJENNA, H.; CHARRE, P.-J.; ZAROOUR, N. E. Using multi-criteria analysis to prioritize stakeholders. *Journal of Systems and Information Technology*, Emerald Group Publishing Limited, 2012.
- BEZERRA, F. E. *Uma abordagem computacional para previsão de demanda de energia elétrica e apoio à tomada de decisão no mercado de curto prazo no Brasil*. Dissertação (Mestrado), 2017.
- BEZERRA, J. R. *Contribuições para Posicionamento Eficiente de Chaves e Restauração Automática de Redes de Distribuição de Energia Elétrica*. Tese (Doutorado), 2015.
- BEZERRA, J. R.; BARROSO, G. C.; LEÃO, R. P. S.; SAMPAIO, R. F. Multiobjective optimization algorithm for switch placement in radial power distribution networks. *IEEE Transactions on Power Delivery*, IEEE, v. 30, n. 2, p. 545–552, 2014.
- BLAND, A. R.; SCHAEFER, A. Different varieties of uncertainty in human decision-making. *Frontiers in neuroscience*, Frontiers Research Foundation, v. 6, p. 85, 2012.
- BOENDER, C.; GRAAN, J. D.; LOOTSMA, F. Multi-criteria decision analysis with fuzzy pairwise comparisons. *Fuzzy sets and Systems*, Elsevier, v. 29, n. 2, p. 133–143, 1989.
- BOLOS, M. I.; BOGDAN, V.; BRADEA, I. A.; POPA, C. D. S.; POPA, D. N. Stochastic fuzzy algorithms for impairment of assets management. *INTERNATIONAL JOURNAL OF COMPUTERS COMMUNICATIONS & CONTROL*, v. 15, n. 1, 2020.
- BORGES, G. P. *Metodologia para planejamento de ações de alívio de carregamento em sistemas de distribuição de energia elétrica em média tensão*. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, 2016.
- BOUKERCHE, K.; LOUNIS, L. Decision-making in an energy system: a knowledge-based solution. In: *18th International Conference on Systems Engineering (ICSEng'05)*. [S.l.: s.n.], 2005. p. 144–151.
- BOUTSIDIS, C.; ZOUIAS, A.; MAHONEY, M. W.; DRINEAS, P. Randomized dimensionality reduction for k -means clustering. *IEEE Transactions on Information Theory*, IEEE, v. 61, n. 2, p. 1045–1062, 2014.
- BRETTHAUER, G.; HANDSCHIN, E.; NEUMANN, U.; WEBER, T.; WELLS-SOW, W. New approaches for maintenance management for grid facilities. 1998.

- BROCKE, J. V.; SCHMIEDEL, T.; RECKER, J.; TRKMAN, P.; MERTENS, W.; VIAENE, S. Ten principles of good business process management. *Business process management journal*, Emerald Group Publishing Limited, v. 20, n. 4, p. 530–548, 2014.
- BSI, A. Pas-55-1: 2008: Asset management: Specification for the optimised management of physical assets. BSI London, UK, 2008.
- BUCKLEY, J. J. Fuzzy hierarchical analysis. *Fuzzy sets and systems*, Elsevier, v. 17, n. 3, p. 233–247, 1985.
- BULUT, E.; DURU, O.; KEÇECİ, T.; YOSHIDA, S. Use of consistency index, expert prioritization and direct numerical inputs for generic fuzzy-ahp modeling: A process model for shipping asset management. *Expert Systems with Applications*, v. 39, n. 2, p. 1911–1923, 2012. Cited By 53. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-80054947843&doi=10.1016%2fj.eswa.2011.08.056&partnerID=40&md5=20e9d070b1f3ad88347cece5f7ee63dd>>.
- BUSINESS, E. Great Britain. Department for; STRATEGY, I. Industrial strategy: building a Britain fit for the future. Department for Business, Energy and Industrial Strategy, London, England, 2017.
- CAGGY, A. L.; ALMEIDA, E. S. d. Ahp & fuzzy logic hybrid method for decision making in project management in a forestry industry. *Gestão & Produção*, SciELO Brasil, v. 27, n. 2, 2020.
- CAHA, J.; BURIAN, J. Comparison of fuzzy ahp algorithms for land suitability assessment. In: SPRINGER. *Dynamics in GIScience 4*. [S.l.], 2018. p. 31–46.
- CAMBOIM, K.; ALENCAR, F. M. Requisitos não funcionais e sustentabilidade para computação em nuvem: uma revisão sistemática da literatura. 2018.
- CARVALHO, E. V. *Uma plataforma de controle, monitoramento e avaliação de desempenho em sistemas de comunicações móveis utilizando alocação dinâmica e inteligente de canais*. Tese (Doutorado), 2006.
- CASTRO, L. B. Gerenciamento da área de manutenção da sae de ituiutaba (mg). 2017.
- CAVALCA, U. C. *Metodologia baseada em inteligência computacional para otimização de traffic shaping em links de redes de computadores*. Dissertação (Mestrado), 2013.
- CAVALCANTI, C.; LENCASTRE, M.; FAGUNDES, R.; SANTOS, T.; FERREIRA, D. Mechanisms to support requirements prioritization: A systematic mapping review. 2018.
- CHAGAS, G. C. C. d. Aplicação do método analytic hierarchy process para priorização de serviços de rastreamento veicular. Universidade Federal da Paraíba, 2016.
- CHALGHAM, W.; DIACONEASA, M.; WU, K.-Y.; MOSLEH, A. A dynamic pipeline network health assessment software platform for optimal risk-based prioritization of inspection, structural health monitoring, and proactive management. v. 83501, p. V013T13A015, 2019.
- CHANDRA, N. K.; CANALE, A.; DUNSON, D. B. Escaping the curse of dimensionality in bayesian model-based clustering. *Journal of Machine Learning Research*, v. 24, n. 144, p. 1–42, 2023.

- CHANG, D.-Y. Applications of the extent analysis method on fuzzy ahp. *European journal of operational research*, Elsevier, v. 95, n. 3, p. 649–655, 1996.
- CHARILAS, D. E.; MARKAKI, O. I.; PSARRAS, J.; CONSTANTINO, P. Application of fuzzy ahp and electre to network selection. p. 63–73, 2009.
- CHEN, L.; XU, Z.; WANG, H.; LIU, S. An ordered clustering algorithm based on k-means and the promethee method. *International Journal of Machine Learning and Cybernetics*, Springer, v. 9, n. 6, p. 917–926, 2018.
- CHENG, E. W.; LI, H. Analytic hierarchy process: an approach to determine measures for business performance. *Measuring business excellence*, MCB UP Ltd, v. 5, n. 3, p. 30–37, 2001.
- CHIN, H. H.; VARBANOV, P. S.; KLEMEŠ, J. J.; BENJAMIN, M. F. D.; TAN, R. R. Asset maintenance optimisation approaches in the chemical and process industries—a review. *Chemical Engineering Research and Design*, Elsevier, v. 164, p. 162–194, 2020.
- CHONG, A. K. W.; MOHAMMED, A. H.; ABDULLAH, M. N.; RAHMAN, M. S. A. Maintenance prioritization—a review on factors and methods. *Journal of Facilities Management*, Emerald Publishing Limited, 2018.
- CHONG, A. K. W.; MOHAMMED, A. H.; ABDULLAH, M. N.; RAHMAN, M. S. A. Maintenance prioritization—a review on factors and methods. *Journal of Facilities Management*, Emerald Publishing Limited, 2019.
- CHRISTODOULOU, S.; DELIGIANNI, A. Neurofuzzy decision framework for the management of water distribution networks. *Water Resources Management*, v. 24, n. 1, p. 139–156, 2010. Cited By 48. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-77956181297&doi=10.1007%2fs11269-009-9441-2&partnerID=40&md5=a021e67ed9fbc6d8f60c813963080ce0>>.
- CHRISTODOULOU, S.; DELIGIANNI, A.; ASLANI, P.; AGATHOKLEOUS, A. Risk-based asset management of water piping networks using neurofuzzy systems. *Computers, Environment and Urban Systems*, v. 33, n. 2, p. 138–149, 2008. Cited By 38. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-61349109514&doi=10.1016%2fj.compenvurbsys.2008.12.001&partnerID=40&md5=820165d5cfd9d8ce5bef0cd0f99447ed>>.
- CICO, O.; JACCHERI, L.; NGUYEN-DUC, A.; ZHANG, H. Exploring the intersection between software industry and software engineering education—a systematic mapping of software engineering trends. *Journal of Systems and Software*, Elsevier, v. 172, p. 110736, 2021.
- CINELLI, M.; KADZIŃSKI, M.; GONZALEZ, M.; SŁOWIŃSKI, R. How to support the application of multiple criteria decision analysis? let us start with a comprehensive taxonomy. *Omega*, Elsevier, p. 102261, 2020.
- COMMITTEE, H. O. L. S. et al. Ai in the uk: ready, willing and able. *House of Lords*, v. 36, 2018.
- COREA, F. *AI Knowledge Map: How to Classify AI Technologies*. Cham: Springer International Publishing, 2019. 25–29 p. ISBN 978-3-030-04468-8. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-04468-8_4>.

- CORREIA, A. K. *Tratamento de falhas de uma caldeira de biomassa utilizando a Análise de Modo e Efeito de Falhas-FMEA: estudo de caso em uma indústria papeteira*. Dissertação (B.S. thesis) — Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2017.
- CORRENTE, S.; GRECO, S.; ISHIZAKA, A. Combining analytical hierarchy process and choquet integral within non-additive robust ordinal regression. *Omega*, Elsevier, v. 61, p. 2–18, 2016.
- CORRIE, C. Iso 9000 introduction and support package: Guidance on the concept and use of the process approach for management systems. *Secretariat of ISO/TC*, v. 176, 2004.
- CRISTÓBAL, J. R. S. *Multi criteria analysis in the renewable energy industry*. [S.l.]: Springer Science & Business Media, 2012.
- DAWOTOLA, A. W.; GELDER, P. V.; VRIJLING, J. Decision analysis framework for risk management of crude oil pipeline system. *Advances in Decision Sciences*, 2011.
- DEKKER, R.; WILDEMAN, R. E.; SCHOUTEN, F. A. Van der D. A review of multi-component maintenance models with economic dependence. *Mathematical methods of operations research*, Springer, v. 45, n. 3, p. 411–435, 1997.
- DERMEVAL, D.; VILELA, J.; BITTENCOURT, I. I.; CASTRO, J.; ISOTANI, S.; BRITO, P.; SILVA, A. Applications of ontologies in requirements engineering: a systematic review of the literature. *Requirements Engineering*, Springer, v. 21, n. 4, p. 405–437, 2016.
- DEY, P. A risk-based model for inspection and maintenance of cross-country petroleum pipeline. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, MCB UP Ltd, 2001.
- DEY, P. K. Analytic hierarchy process analyzes risk of operating cross-country petroleum pipelines in india. *Natural Hazards Review*, American Society of Civil Engineers, v. 4, n. 4, p. 213–221, 2003.
- DIJKHUIZEN, G. v. Maintenance grouping in multi-step multi-component production systems. Springer, p. 283–306, 2000.
- DING, C.; LI, T. Adaptive dimension reduction using discriminant analysis and k-means clustering. In: *Proceedings of the 24th international conference on Machine learning*. [S.l.: s.n.], 2007. p. 521–528.
- DINH, D.-H.; DO, P.; IUNG, B. Degradation modeling and reliability assessment for a multi-component system with structural dependence. *Computers & Industrial Engineering*, Elsevier, v. 144, p. 106443, 2020.
- DURAN, O.; AGUILO, J. Computer-aided machine-tool selection based on a fuzzy-ahp approach. *Expert systems with applications*, Elsevier, v. 34, n. 3, p. 1787–1794, 2008.
- EASTERBROOK, S.; SINGER, J.; STOREY, M.-A.; DAMIAN, D. Selecting empirical methods for software engineering research. In: _____. *Guide to Advanced Empirical Software Engineering*. London: Springer London, 2008. p. 285–311. ISBN 978-1-84800-044-5. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/978-1-84800-044-5_11>.

- EBERT, F.; CASTOR, F.; NOVIELLI, N.; SEREBRENIK, A. An exploratory study on confusion in code reviews. *Empirical Software Engineering*, Springer, v. 26, n. 1, p. 1–48, 2021.
- EHALAIYE, D.; REDMAYNE, N. B.; LASWAD, F. Does accounting information contribute to a better understanding of public assets management? the case of local government infrastructural assets. *Public Money & Management*, Taylor & Francis, v. 41, n. 2, p. 88–98, 2021.
- ENGELBRECHT, A. P. *Computational intelligence: an introduction*. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2007.
- FIGUEROA-GARCIA, J. C.; KREINOVICH, V. How accurate are fuzzy control recommendations: Interval-valued case. 2021.
- FILHO, A. A. *Priorização de investimentos em sistemas de distribuição de energia elétrica de baixa tensão*. Dissertação (Mestrado), 2003.
- FILHO, M. N. da S. *Sistema Inteligente para Tomada Rápida de Decisões nos Sistemas Elétricos*. Tese (Doutorado) — Universidade Federal de Itajubá, 2006.
- FORD, M. C. Ford motor company and subsidiaries consolidated balance sheets. *UNITED STATES SECURITIES AND EXCHANGE COMMISSION*, 2023.
- FOUNDATION, P. S. *Python Package Index - PyPI*. Python Software Foundation, 2013. Disponível em: <<https://pypi.org/>>.
- GAD, A. F. *PyGAD: An Intuitive Genetic Algorithm Python Library*. 2021.
- GAWLIK, R. Preliminary criteria reduction for the application of analytic hierarchy process method. 2008.
- GAZPROM. *Gas exports to Europe*. 2015. <www.gazprom.com>. Accessed: 2021-02-21.
- GODTFREDSSEN, A. C.; GRAM, J. B.; PHAM, S. T. D.; DOLLERIS, B. B.; JØRGENSEN, J. S.; SIDELMANN, J. J.; PALARASAH, Y. Depressed kallikrein generation in women with preeclampsia: a matched cross-sectional study. *Frontiers in Medicine*, Frontiers, v. 9, p. 896811, 2022.
- GOICOECHEA, A.; STAKHIV, E. Z.; LI, F. Experimental evaluation of multiple criteria decision models for application to water resources planning 1. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, Wiley Online Library, v. 28, n. 1, p. 89–102, 1992.
- GONZÁLEZ-ESTRADA, E.; COSMES, W. Shapiro-wilk test for skew normal distributions based on data transformations. *Journal of Statistical Computation and Simulation*, Taylor & Francis, v. 89, n. 17, p. 3258–3272, 2019.
- GONZÁLEZ-ESTRADA, E.; VILLASEÑOR, J. A.; ACOSTA-PECH, R. Shapiro-wilk test for multivariate skew-normality. *Computational Statistics*, Springer, v. 37, n. 4, p. 1985–2001, 2022.
- GOYAL, R. K.; KAUSHAL, S.; SANGAIAH, A. K. The utility based non-linear fuzzy ahp optimization model for network selection in heterogeneous wireless networks. *Applied Soft Computing*, Elsevier, v. 67, p. 800–811, 2018.

- GRIGSBY, L. L. *Electric power generation, transmission, and distribution*. [S.l.]: CRC press, 2007.
- HALASZ, M.; FERRAZ, F. T. Gestão de ativos aplicada à instrumentação industrial: Uma revisão da literatura. 2016.
- HASTINGS, N. A. J. *Physical asset management: With an introduction to ISO55000*. [S.l.]: Springer, 2015.
- HASTINGS, N. A. J. *Asset Management Information Systems*. [S.l.]: Springer, 2021.
- HASTINGS, N. A. J.; HASTINGS, N. A. J. Introduction to asset management. *Physical Asset Management: With an Introduction to the ISO 55000 Series of Standards*, Springer, p. 1–24, 2021.
- HELMBRECHT, J.; PASTOR, J.; MOYA, C. Smart solution to improve water-energy nexus for water supply systems. *Procedia Engineering*, v. 186, p. 101 – 109, 2017. ISSN 1877-7058. XVIII International Conference on Water Distribution Systems, WDSA2016. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705817313644>.
- HONGYAN, B.; CHEN, H.; LINGGE, J. Intelligent signal processing of mobility management for heterogeneous networks. In: *International Conference on Neural Networks and Signal Processing, 2003. Proceedings of the 2003*. [S.l.: s.n.], 2003. v. 2, p. 1578–1581 Vol.2.
- IEC. *IEC 60300-1 Dependability management – Part 1: Guidance for management and application*. [S.l.]: International Electrotechnical Commission, 2014.
- IHEUKWUMERE-ESOTU, L. *Development of an Experience Transfer and Tacit Knowledge Management Platform for Major Overhauls, Outages, Shutdowns and Turnarounds (MoOSTs)*. [S.l.]: The University of Manchester (United Kingdom), 2022.
- INSTITUTION, B. S. *BS EN 13306:2017 Maintenance — Maintenance terminology*. [S.l.]: BSI Standards Limited, 2018.
- ISHIZAKA, A. Analytic hierarchy process and its extensions. *New perspectives in multiple criteria decision making: Innovative applications and case studies*, Springer, p. 81–93, 2019.
- ISHIZAKA, A.; NEMERY, P. *Multi-criteria decision analysis: methods and software*. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2013.
- ISHIZAKA, A.; NGUYEN, N. H. Calibrated fuzzy ahp for current bank account selection. *Expert systems with applications*, Elsevier, v. 40, n. 9, p. 3775–3783, 2013.
- ISO-55000. *ISO 55000*. [S.l.]: International Organization for Standardization, 2014.
- ISO14050. *ISO 14050:2020(en) Environmental management — Vocabulary*. 2020. <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:14050:ed-4:v1:en:term:3.2.1>. Accessed: 2021-02-15.
- ISO21886. *ISO 21886:2019(en) Space systems — Configuration management*. 2019. <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:21886:ed-1:v1:en>. Accessed: 2021-02-15.

- ISO31000. *ISO 31000:2018(en) Risk management — Guidelines*. 2018. <<https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:31000:ed-2:v1:en:term:3.6>>. Accessed: 2021-02-15.
- ISO9000. *ISO 9000:2015(en) Quality management systems — Fundamentals and vocabulary*. 2015. <<https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:9000:ed-4:v1:en>>. Accessed: 2021-02-15.
- JAIN, A. K. Data clustering: 50 years beyond k-means. *Pattern recognition letters*, Elsevier, v. 31, n. 8, p. 651–666, 2010.
- JAKKULA, B.; MANDELA, G. R.; SN, M. C. Reliability block diagram (rbd) and fault tree analysis (fta) approaches for estimation of system reliability and availability—a case study. *International Journal of Quality & Reliability Management*, Emerald Publishing Limited, 2020.
- JAVANBARG, M. B.; SCAWTHORN, C.; KIYONO, J.; SHAHBODAGHKHAN, B. Fuzzy ahp-based multicriteria decision making systems using particle swarm optimization. *Expert systems with applications*, Elsevier, v. 39, n. 1, p. 960–966, 2012.
- JIANG, X.; BAO, Y. A dai-based method for rail traffic passenger flow assignment and simulation evaluation. In: *2010 International Conference on Artificial Intelligence and Computational Intelligence*. [S.l.: s.n.], 2010. v. 3, p. 7–11.
- JUNIOR, L. C. S. *Sequenciamento ótimo da recomposição de sistemas elétricos utilizando algoritmos genéticos*. Dissertação (Mestrado), 2008.
- KABIRU, S. A. Socio-economic infrastructure and national development: An analytical assessment from nigerian perspective. *Journal of Humanities and Social Science*, v. 21, n. 10, p. 36–42, 2016.
- KARAR, A. N.; LABIB, A.; JONES, D. F. A conceptual framework for an agile asset performance management process. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, Emerald Publishing Limited, 2021.
- KAUFMAN, L.; ROUSSEUW, P. J. *Finding groups in data: an introduction to cluster analysis*. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2009.
- KEIZER, M. C. O.; FLAPPER, S. D. P.; TEUNTER, R. H. Condition-based maintenance policies for systems with multiple dependent components: A review. *European Journal of Operational Research*, Elsevier, v. 261, n. 2, p. 405–420, 2017.
- KHANMOHAMMADI, S.; REZAEIAHARI, M. Ahp based classification algorithm selection for clinical decision support system development. *Procedia Computer Science*, Elsevier, v. 36, p. 328–334, 2014.
- KITCHENHAM, B.; BRERETON, P. A systematic review of systematic review process research in software engineering. *Information and Software Technology*, v. 55, n. 12, p. 2049 – 2075, 2013. ISSN 0950-5849. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950584913001560>>.
- KITCHENHAM, B.; CHARTERS, S. Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering. 2007.
- KLEIJNEN, J. P. *Design and analysis of simulation experiments*. [S.l.]: Springer, 2018.

- KREJČÍ, J.; PAVLAČKA, O.; TALAŠOVÁ, J. A fuzzy extension of analytic hierarchy process based on the constrained fuzzy arithmetic. *Fuzzy Optimization and Decision Making*, Springer, v. 16, n. 1, p. 89–110, 2017.
- KUMAR, E. V.; CHATURVEDI, S. Prioritization of maintenance tasks on industrial equipment for reliability: a fuzzy approach. *International Journal of Quality & Reliability Management*, Emerald Group Publishing Limited, 2011.
- LAARHOVEN, P. J. V.; PEDRYCZ, W. A fuzzy extension of saaty's priority theory. *Fuzzy sets and Systems*, Elsevier, v. 11, n. 1-3, p. 229–241, 1983.
- LARSON, R.; FARBER, B. *Estatística Aplicada [Applied statistics]*. [S.l.]: São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2015.
- LAVY, S.; GARCIA, J. A.; SCINTO, P.; DIXIT, M. K. Key performance indicators for facility performance assessment: simulation of core indicators. *Construction Management and Economics*, Taylor & Francis, v. 32, n. 12, p. 1183–1204, 2014.
- LENAHAN, T. *Turnaround, shutdown and outage management: Effective planning and step-by-step execution of planned maintenance operations*. [S.l.]: Elsevier, 2011.
- LESANI, S. H.; ROUYENDEGH, B.; ERDEBILLI, B. Object-oriented programming language selection using fuzzy ahp method. v. 29, p. 1–17, 2014.
- LI, H. Study on the water resource allocation of south-to-north water transfer based on hybrid genetic algorithm. In: *2010 4th International Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering*. [S.l.: s.n.], 2010. p. 1–4. ISSN 2151-7622.
- LIANHAI, C.; ZHIPING, L.; NANXIANG, C. Optimal allocation of multi-objective water resources based on genetic algorithm. In: *2010 Third International Conference on Information and Computing*. [S.l.: s.n.], 2010. v. 2, p. 194–197. ISSN 2160-7443.
- LIKERT, R. A technique for the measurement of attitudes. *Archives of psychology*, 1932.
- LIPSETT, M.; HAJIZADEH, M. Using telemetry to identify haul truck engine and suspension faults. p. 61–68, 2011.
- LIU, Y.; LI, Z.; XIONG, H.; GAO, X.; WU, J. Understanding of internal clustering validation measures. In: IEEE. *2010 IEEE international conference on data mining*. [S.l.], 2010. p. 911–916.
- LOPES, D. d. S. *Modelos neurais autônomos para classificação e localização de defeitos em linhas de transmissão*. Dissertação (Mestrado), 2017.
- LUIZ, T. A. *Alocação de canais em redes WLAN considerando a utilidade marginal total da conexão para usuários*. Dissertação (Mestrado), 2015.
- MACIEL, A.; VINHAS, L.; CÂMARA, G. Algoritmos de clustering para separação de culturas agrícolas e tipos de uso e cobertura da terra utilizando dados de sensoriamento remoto. *Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR)*, João Pessoa-PB, Brasil, v. 25, 2015.
- MAGALHÃES, C. H. N. d. *Recursos operativos no planejamento de expansão de sistemas de potência*. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, 2008.

- MAGOULAS, G. D.; GHINEA, G. Neural network-based interactive multicriteria decision making in a quality of perception-oriented management scheme. In: *IJCNN'01. International Joint Conference on Neural Networks. Proceedings (Cat. No.01CH37222)*. [S.l.: s.n.], 2001. v. 4, p. 2536–2541 vol.4. ISSN 1098-7576.
- MALHOTRA, R. *Empirical research in software engineering: concepts, analysis, and applications*. [S.l.]: Chapman and Hall/CRC, 2016.
- MALHOTRA, R. *Empirical research in software engineering: concepts, analysis, and applications*. [S.l.]: Chapman and Hall/CRC, 2019.
- MARCELINO, C.; BAUMANN, M.; CARVALHO, L.; CHIBELES-MARTINS, N.; WEIL, M.; ALMEIDA, P.; WANNER, E. A combined optimisation and decision-making approach for battery-supported hms. *Journal of the Operational Research Society*, Taylor & Francis, p. 1–13, 2019.
- MARCELINO, C. G. *UMA ABORDAGEM EVOLUTIVA E HÍBRIDA PARA A SOLUÇÃO DE PROBLEMAS DE FLUXO DE POTÊNCIA ÓTIMO*. Tese (Doutorado), 2017.
- MARCHAU, V. A.; WALKER, W. E.; BLOEMEN, P. J.; POPPER, S. W. *Decision making under deep uncertainty: from theory to practice*. [S.l.]: Springer Nature, 2019.
- MARCO, V. d. Gestão de ativos e o pas 55—um novo paradigma. *Programa de Monitoração da Eficácia da Manutenção na Gerência de Manutenção Integrada da Eletrobrás Eletronuclear SA*, p. 33, 2013.
- MARQUES, L. T. *Restabelecimento de energia por reconfiguração de redes em sistemas de distribuição de grande porte com priorização de chaves, consumidores e definição de sequência de chaveamento*. Dissertação (Mestrado) — Universidade de São Paulo, 2013.
- MARQUES, L. T.; DELBEM, A. C.; LONDON, J. B. A.; CAMILLO, M. H. M. Service restoration in large-scale distribution systems considering three levels of priority customers. p. 1–6, 2015.
- MARQUES, R. L. *Algoritmos de Otimização para Priorização da Modernização da Proteção em Redes Elétricas*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Minas Gerais, 2016.
- MARQUES, R. L.; CARRANO, E. G.; SALDANHA, R. R. Priorização da modernização da proteção de sistemas elétricos utilizando otimização multiobjetivo. 2016.
- MARZOUK, M.; OSAMA, A. Fuzzy-based methodology for integrated infrastructure asset management. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, v. 10, n. 1, p. 745–759, 2017. Cited By 1. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85018771100&doi=10.2991%2fijcis.2017.10.1.50&partnerID=40&md5=2c47ef612408907ee5a4a58cb4d81d89>>.
- MATOUŠEK, J.; VONDRÁK, J. The probabilistic method. *Lecture Notes, Department of Applied Mathematics, Charles University, Prague*, 2008.
- MECABÔ, L. *Desenvolvimento de um protótipo de sistema especialista para apoio à manutenção de turbocompressores centrífugos de gás natural*. Dissertação (Mestrado), 2007.

- MEHBODNIYA, A.; KALEEM, F.; YEN, K. K.; ADACHI, F. A fuzzy madm ranking approach for vertical mobility in next generation hybrid networks. In: *2012 IV International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems*. [S.l.: s.n.], 2012. p. 262–267. ISSN 2157-023X.
- MENDES, J. A. J.; FREJ, E. A.; ALMEIDA, A. T. d.; ALMEIDA, J. A. d. Evaluation of flexible and interactive tradeoff method based on numerical simulation experiments. *Pesquisa Operacional*, SciELO Brasil, v. 40, 2020.
- METAXIOTIS, K. *Intelligent Information Systems and Knowledge Management for Energy: Applications for Decision Support, Usage, and Environmental Protection: Applications for Decision Support, Usage, and Environmental Protection*. [S.l.: Igi Global, 2009.
- MEYER, M. W. *Rethinking performance measurement: Beyond the balanced scorecard*. [S.l.: Cambridge University Press, 2003.
- MIANABADI, H.; AFSHAR, A. Fuzzy group decision making to select the best alternative for development of groundwater resources. In: *2009 Sixth International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery*. [S.l.: s.n.], 2009. v. 3, p. 307–311.
- MNKANDLA, E. About software engineering frameworks and methodologies. In: *IEEE. AFRICON 2009*. [S.l.], 2009. p. 1–5.
- MODEL, B. P. Notation (bpmn) version 2.0. *OMG Specification, Object Management Group*, v. 19, p. 52–60, 2011.
- MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. C. *Applied statistics and probability for engineers*. [S.l.: John Wiley and Sons, 2014.
- MORAIS, L. C. d. Estudo sobre o panorama da energia elétrica no brasil e tendências futuras. Universidade Estadual Paulista (UNESP), 2015.
- MOREIRA, M. A. L.; SANTOS, M. dos; GOMES, C. F. S. Desenvolvimento de ferramenta computacional em python: implementação e estudo de caso dos métodos promethee i, ii e iii. *XIX Simpósio de Pesquisa Operacional e logística da marinha*, 2019.
- MOREIRA, M. P. *Priorização dos Modos de Falha de Equipamentos Utilizando os Métodos de Análise Multicritério PROMETHEE e Fuzzy PROMETHEE*. 2009.
- MOREIRA, M. P.; DUPONT, C. J. Utilização do processo mcc e da metodologia f-promethee para a priorização dos modos de falhas em transformadores de potência. 2011.
- MOU, L.; NA, L. C. Developing and using matlab-based water supply pipe network intelligent fuzzy safety. In: *2010 The 2nd Conference on Environmental Science and Information Application Technology*. [S.l.: s.n.], 2010. v. 3, p. 488–491.
- NABOU, A.; LAANAOU, M. driss; OUZZIF, M. et al. Shapiro-wilk test to detect the routing attacks in manet. 2021.
- NAVIDI, W. *Probabilidade e estatística para ciências exatas*. [S.l.: AMGH Editora, 2012.

- NEL, C. B. H.; JOOSTE, J. A technologically-driven asset management approach to managing physical assets-a literature review and research agenda for 'smart' asset management. *South African Journal of Industrial Engineering*, v. 27, n. 4, p. 50–65, 2016.
- NETO, E. A. A.; MUSSOI, F. L.; TEIVE, R. C.; ANDRADE, F. F.; COELHO, J.; RESE, A. L.; CARDOSO, F. L.; PARREIRA, J. P.; GUTH, T. F. A multicriteria approach for performance evaluation of distribution system operators. p. 1–7, 2016.
- NETO, H. R. de A.; MAGALHÃES, E. M. C. de; MOURA, H. P. de; FILHO, J. G. d. A. T.; CAPPELLI, C.; MARTINS, L. M. F. Evaluation of a maturity model for agile governance in ict using focus group. 2015.
- NETO, J. E. A.; CASTRO, C. A. Optimal maintenance scheduling of transmission assets in the brazilian electric system. *Journal of Control, Automation and Electrical Systems*, Springer, v. 32, n. 2, p. 482–491, 2021.
- NEVES, R. B.; PEREIRA, V.; COSTA, H. G. Auxílio multicritério à decisão aplicado ao planejamento e gestão na indústria de petróleo e gás. *Production*, SciELO Brasil, v. 25, p. 43–53, 2013.
- NGUYEN, H. S. H. *Development of a dynamic grouping maintenance strategy for a geographically dispersed production system*. Tese (Doutorado) — Université de Lorraine, 2019.
- NICOLAI, R. P.; DEKKER, R. Optimal maintenance of multi-component systems: a review. *Complex system maintenance handbook*, Springer, p. 263–286, 2008.
- NIETO-MOROTE, A.; RUZ-VILA, F. A fuzzy ahp multi-criteria decision-making approach applied to combined cooling, heating, and power production systems. *International Journal of Information Technology & Decision Making*, World Scientific, v. 10, n. 03, p. 497–517, 2011.
- ONAKA, J. H. D. *Ferramentas de apoio à tomada de decisão ao problema de alocação ótima de bancos de capacitores em redes de distribuição de energia considerando cargas não lineares*. Tese (Doutorado), 2017.
- OSTERWEIL, L. Software processes are software too. *Engineering of Software: The Continuing Contributions of Leon J. Osterweil*, Springer, p. 323–344, 2011.
- PAHL, C. An integrated dependability analysis and design method for distributed systems engineering. p. 231–238, 2021.
- PAIVA, R. R. d. C. *Planejamento da expansão de curto prazo de redes de distribuição considerando geração distribuída e confiabilidade*. Tese (Doutorado), 2016.
- PAPATHANASIOU, J.; PLOSKAS, N. et al. *Multiple criteria decision aid*. [S.l.]: Springer, 2018.
- PATIL, S. K.; KANT, R. A fuzzy ahp-topsis framework for ranking the solutions of knowledge management adoption in supply chain to overcome its barriers. *Expert systems with applications*, Elsevier, v. 41, n. 2, p. 679–693, 2014.

- PEDREGOSA, F.; VAROQUAUX, G.; GRAMFORT, A.; MICHEL, V.; THIRION, B.; GRISEL, O.; BLONDEL, M.; PRETTENHOFER, P.; WEISS, R.; DUBOURG, V.; VANDERPLAS, J.; PASSOS, A.; COUNAPEAU, D.; BRUCHER, M.; PERROT, M.; DUCHESNAY, E. Scikit-learn: Machine learning in Python. *Journal of Machine Learning Research*, v. 12, p. 2825–2830, 2011.
- PEDRYCZ, W.; GOMIDE, F. *Fuzzy systems engineering: toward human-centric computing*. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2007.
- PEIXOTO, A. *O problema de inspeções na rede de distribuição de energia elétrica: uma abordagem evolutiva*. Dissertação (Mestrado) — Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Ceará, 2015.
- PELLEG, D.; MOORE, A. Accelerating exact k-means algorithms with geometric reasoning. p. 277–281, 1999.
- PELLEG, D.; MOORE, A. W. et al. X-means: Extending k-means with efficient estimation of the number of clusters. v. 1, p. 727–734, 2000.
- PEREIRA, D.; ALMEIDA, C. F. M.; VASCONCELOS, F. M. de; KAGAN, N.; JÚNIOR, J.; VIANA, F. E.; JUNIOR, J. D. de S.; DOMINICE, A. Prioritization of medium-voltage wiring actions with artificial intelligence algorithm. *Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos-SBSE*, v. 1, n. 1, 2020.
- PEREIRA, D. de S.; VASCONCELOS, F. M. de; ALMEIDA, C. F. M.; KAGAN, N.; JÚNIOR, J.; VIANA, F.; DOMINICE, A.; JÚNIOR, J. D. Uma metodologia baseada em algoritmo genético para priorização de ações de manutenção de concessionárias de distribuição de energia elétrica. *Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos-SBSE*, v. 1, n. 1, 2020.
- PETCHROMPO, S.; PARLIKAD, A. K. A review of asset management literature on multi-asset systems. *Reliability Engineering & System Safety*, Elsevier, v. 181, p. 181–201, 2019.
- PETERSEN, K.; FELDT, R.; MUJTABA, S.; MATTSSON, M. Systematic mapping studies in software engineering. v. 8, p. 68–77, 2008.
- PETROVIĆ, G.; MIHAJLOVIĆ, J.; ČOJBAŠIĆ, Ž.; MADIĆ, M.; MARINKOVIĆ, D. Comparison of three fuzzy mcdm methods for solving the supplier selection problem. *Facta Universitatis. Series: Mechanical Engineering*, v. 17, n. 3, p. 455–469, 2019.
- PETROVIĆ, S.; MILOSAVLJEVIĆ, P.; ŠAJIĆ, J. L. Rapid evaluation of maintenance process using statistical process control and simulation. *International Journal of Simulation Modelling*, Daaam International Vienna, Vienna, v. 17, n. 1, p. 119–132, 2018.
- PHAN, H. C.; DHAR, A. S. Pipeline maintenance prioritization considering reliability and risk: A conceptual methodology. *Journal of Advances in Civil and Environmental Engineering*, v. 3, n. 1, p. 13–30, 2016.
- PHILLIPS-WREN, G. Intelligent systems to support human decision making. *Artificial Intelligence: Concepts, Methodologies, Tools, and Applications*, 01 2017.

PIASSON, D. *Otimização de planos de manutenções de componentes de sistemas de distribuição de energia elétrica centrados em confiabilidade*. Tese (Doutorado), 2014.

PIASSON, D.; BÍSCARO, A. A.; LEÃO, F. B.; MANTOVANI, J. R. S. A new approach for reliability-centered maintenance programs in electric power distribution systems based on a multiobjective genetic algorithm. *Electric Power Systems Research*, Elsevier, v. 137, p. 41–50, 2016.

PIDD, M. *Modelagem Empresarial: Ferramentas para a Tomada de Decisão*. Porto Alegre. [S.l.]: Bookman, 1998.

PINHEIRO, E. H. F. *Evolutionary Clustering Search para Planejamento de Circulação de Trens de Carga*. Dissertação (Mestrado), 2017.

PITANGUEIRA, A. M.; MACIEL, R. S. P.; BARROS, M. Software requirements selection and prioritization using sbse approaches: A systematic review and mapping of the literature. *Journal of Systems and Software*, Elsevier, v. 103, p. 267–280, 2015.

PREDESCU, A.; NEGRU, C.; MOCANU, M.; LUPU, C. Real-time clustering for priority evaluation in a water distribution system. In: *2018 IEEE International Conference on Automation, Quality and Testing, Robotics (AQTR)*. [S.l.: s.n.], 2018. p. 1–6.

PRIETO, B. Classes of factors to be considered in infrastructure investment prioritization. 2014.

PROAG, V. *Infrastructure Planning and Management: An Integrated Approach*. [S.l.]: Springer, 2021.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. D. *Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico-2ª Edição*. [S.l.]: Editora Feevale, 2013.

QURESHI, Z. H. Modelling decision-making in tactical airborne environments using cognitive work analysis-based techniques. In: *19th DASC. 19th Digital Avionics Systems Conference. Proceedings (Cat. No.00CH37126)*. [S.l.: s.n.], 2000. v. 2, p. 5B3/1–5B3/8 vol.2.

RAMÍREZ-CAMACHO, J. G.; CARBONE, F.; PASTOR, E.; BUBBICO, R.; CASAL, J. Assessing the consequences of pipeline accidents to support land-use planning. *Safety science*, Elsevier, v. 97, p. 34–42, 2017.

RAMLI, A.; AMRAN, S. H.; SULAIMAN, N. S. Preliminary study on the prioritization of asset integrity elements for catastrophic industrial accident's warning signs using analytic hierarchy process (ahp). *Journal of Chemical Engineering and Industrial Biotechnology*, v. 6, n. 1, p. 26–31, 2020.

RASTEGARI, A.; MOBIN, M. Maintenance decision making, supported by computerized maintenance management system. In: *IEEE. 2016 annual reliability and maintainability symposium (RAMS)*. [S.l.], 2016. p. 1–8.

RAZALI, N. M.; WAH, Y. B. et al. Power comparisons of shapiro-wilk, kolmogorov-smirnov, lilliefors and anderson-darling tests. *Journal of statistical modeling and analytics*, v. 2, n. 1, p. 21–33, 2011.

RESE, A. L. R. *Reconfiguração de redes de distribuição de energia elétrica considerando múltiplos objetivos - uma abordagem visando a avaliação do desempenho de operadores*. Dissertação (Mestrado), 2017.

RESTREPO, J. D. E. *Otimização em tempo real para o controle Volt/VAr em sistemas de distribuição de energia elétrica*. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, 2016.

RHEIN, A.; BALZER, G.; KLATT, S.; STAHLER, J. Ant colony optimization of maintenance and replacement strategies in transmission systems. In: . [s.n.], 2016. v. 2016-July. Cited By 1. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84983319470&doi=10.1109%2fEEM.2016.7521350&partnerID=40&md5=c851f7443b12b5136e4cfbb62c81160a>>.

RHEIN, A.; BALZER, G.; RENZ, P. Reliability-based improvement of life-cycle maintenance and replacement strategies in transmission systems using ant colony optimization. In: . [s.n.], 2017. Cited By 1. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85030157970&doi=10.1109%2fIYCE.2017.8003701&partnerID=40&md5=0b0b07cf26fb384c2a8755fd9b9210da>>.

RICEFER. *COMO FUNCIONA UMA XAROPARIA*. Ricefer, 2020. Disponível em: <<https://www.ricefer.com.br/2020/09/04/xaroparia/>>.

RIGDON, J. C. Dictionary of computer and internet terms (vol. 1). *Eastern Digital Resources*, 2016.

RIJN, C. F. van. Asset management at the millenium. *www. plant-maintenance. com*, 2002.

RIOS, V. d. M. *Seleção de redes sem fio baseada em técnicas de apoio à decisão*. Dissertação (Mestrado), 2012.

RIOS, V. D. M.; MONTEIRO, C. de C.; CUNHA, V. C. Propostas de soluções para seleção de redes em ambientes sem fio heterogêneos. Universidad Inca Garcilaso de la Vega, 2013.

ROCHA, S. P.; BAMBIRRAPEREIRA, R.; MELOMACHADO-COELHO, T.; IAKOVLEVITCHEKEL, P.; LUISOARES, G. Two-stage optimization combining pso and topsis for allocation of energy storage in electric power systems. In: *2018 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC)*. [S.l.: s.n.], 2018. p. 1–8.

RODRIGUES, K. C.; RABELO, M. H. S. A importância do transporte na logística empresarial. *Revista Acadêmica Conecta FASF*, v. 2, n. 1, 2017.

ROZGA, P.; KRASLAWSKI, A.; KLARECKI, A.; ROMANOWSKI, A.; KRYSIAK, W. A new approach for decision support of the selection of construction technology of high-voltage substations based on ahp method. *IEEE Access*, IEEE, v. 9, p. 73413–73423, 2021.

RUSSELL, S. J.; NORVIG, P. *Artificial intelligence: a modern approach*. [S.l.]: Malaysia; Pearson Education Limited,, 2016.

SAATY, T. The analytic hierarchy process mcgraw hill, new york. *Agricultural Economics Review*, v. 70, 1980.

- SAATY, T. L. How to make a decision: the analytic hierarchy process. *European journal of operational research*, North-Holland, v. 48, n. 1, p. 9–26, 1990.
- SAATY, T. L. Fundamentals of the analytic hierarchy process. *The analytic hierarchy process in natural resource and environmental decision making*, Springer, p. 15–35, 2001.
- SAHOO, T. *Process plants: shutdown and turnaround management*. [S.l.]: CRC Press, 2013.
- SANTO, K. G. D. *Gestão ativa da demanda de energia elétrica para consumidores inseridos em redes inteligentes*. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, 2018.
- SANTOS, A. V. d. *Método para alocação de áreas de descanso para o transporte de carga em redes rodoviárias*. Tese (Doutorado), 2016.
- SANTOS, F. A. *Otimização Multiobjetivo aplicada a alocação dinâmica de rotas em redes de telecomunicações*. Dissertação (Mestrado), 2009.
- SANTOS, F. A.; MATEUS, G. R. Uma abordagem multiobjetivo para o problema de roteamento em redes mpls. 2008.
- SANTOS, J. J. S.; GERAIS, M. *Estudo dos Métodos de Tomada de Decisão Aplicados a Reconfiguração Sazonal de Redes de Distribuição de Energia Elétrica*. Dissertação (Mestrado), 2012.
- SANTOS, L. T.; VELLASCO, M. M.; TANSCHKEIT, R. Decision support system for diagnosis of power transformers. p. 1–6, 2009.
- SANTOS, L. T. B. d. *Sistemas de apoio à decisão para o diagnóstico de faltas em transformadores de potência*. Dissertação (Mestrado), 2009.
- SCHMEISER, B. Simulation experiments. *Handbooks in operations research and management science*, Elsevier, v. 2, p. 295–330, 1990.
- SEVERINO, A. J. *Metodologia do trabalho científico*. : Cortez editora, 2017.
- SHAFIEE, M. Maintenance strategy selection problem: an mcdm overview. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, Emerald Group Publishing Limited, 2015.
- SHOGLI, O.; GARZA, J. D. L. Multi-asset optimization of roadways asset maintenance. In: . [s.n.], 2017. v. 2017-June, p. 297–305. Cited By 0. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85026865435&partnerID=40&md5=697c76e667da88be93b9168c9f05cc3c>.
- SHYLESH, S. A study of software development life cycle process models. In: *National Conference on Reinventing Opportunities in Management, IT, and Social Sciences*. [S.l.: s.n.], 2017. p. 534–541.
- SILVA, A. C. L. d.; MELO, P. H. B. Proposta de um cmms para manutenção de equipamentos na universidade de Brasília. Universidade de Brasília, 2017.
- SILVA, A. C. L. da; MELO, P. H. B. Proposta de um cmms para manutenção de equipamentos na universidade de Brasília. 2017.

- SILVEIRA, M. J.; MARASCA, A. L.; MARCON, M.; ORTONCELLI, A. R. Priorização de atividades de desenvolvimento de software com uma rede neural artificial. *Anais do Computer on the Beach*, v. 11, n. 1, p. 229–236, 2020.
- SINAGA, K. P.; YANG, M.-S. Unsupervised k-means clustering algorithm. *IEEE access*, IEEE, v. 8, p. 80716–80727, 2020.
- SOARES, L. L.; SANTOS, W. T. dos. Gestão de ativos: Manter, prolongar a vida e melhorar o desempenho operacional. Instituto de Educação Tecnológica, 2017.
- SOUZA, R. R. de; TOEBE, M.; MELLO, A. C.; BITTENCOURT, K. C. Sample size and shapiro-wilk test: An analysis for soybean grain yield. *European Journal of Agronomy*, Elsevier, v. 142, p. 126666, 2023.
- SOUZA, R. S. D.; SILVESTRE, R. A. D.; VIANNA, D. S.; VIANNA, M. d. F. D.; MEZA, E. B. M. Utilização do método de análise hierárquica (ahp) para priorização de serviços submarinos na indústria do petróleo/using the hierarchical analysis (ahp) method for prioritization of submarine services in the oil industry. *Brazilian Journal of Development*, v. 5, n. 11, p. 23788–23804, 2019.
- SPITZER, D. R. *Transforming performance measurement: Rethinking the way we measure and drive organizational success*. [S.l.]: Amacom Books, 2007.
- SRIVASTAVA, P.; KHANDUJA, D.; AGRAWAL, V. P. Integrating agile thinking into maintenance strategy performance analysis. *International Journal of Process Management and Benchmarking*, Inderscience Publishers (IEL), v. 8, n. 2, p. 228–245, 2018.
- STEFANO, N. M. A proposal of hybrid methods for criteria and sub-criteria in the implementation of the product-service system (pss)/uma proposta de metodos hibridos para criterios e subcriterios de implantacao do sistema produto-servico (pss). *Revista Exacta*, Universidade Nove de Julho, v. 14, n. 3, p. 431–448, 2016.
- STEINMAN, F.; BANOVEC, P.; ANTL, S. Genetic-algorithms-supported planning of water-supply systems. *Strojniski Vestnik/Journal of Mechanical Engineering*, v. 47, n. 6, p. 263 – 279, 2001. ISSN 00392480. Network management;.
- SWART, P. D. *An asset investment decision framework to prioritise shutdown maintenance tasks*. Tese (Doutorado) — Stellenbosch: Stellenbosch University, 2015.
- TAM, A. S.; PRICE, J. W. A generic asset management framework for optimising maintenance investment decision. *Production Planning & Control*, Taylor & Francis, v. 19, n. 4, p. 287–300, 2008.
- TAM, A. S.; PRICE, J. W. A maintenance prioritisation approach to maximise return on investment subject to time and budget constraints. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, Emerald Group Publishing Limited, 2008.
- TAVARES, A. D.; GOMES, C. F. S. Iso 55000: The evolution of asset management iso 55000: A evolução da gestão de ativos. *Business and Management Review*, 2015.
- THAKKAR, K.; SHAH, J.; PRABHAKAR, R.; NARAYAN, A.; JOSHI, A. Ahp and machine learning techniques for wine recommendation. *International Journal of Computer Science and Information Technologies*, v. 7, n. 5, p. 2349–2352, 2016.

THOMAS, L. A survey of maintenance and replacement models for maintainability and reliability of multi-item systems. *Reliability Engineering*, Elsevier, v. 16, n. 4, p. 297–309, 1986.

TRAN, H.; MARLOW, D.; MAY, R. Application of decision support models in asset management of sewer networks: Framework and case study. In: . [s.n.], 2010. v. 386, p. 846–856. Cited By 0. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-78649995924&doi=10.1061%2f41138%28386%2981&partnerID=40&md5=eac0b0e54802d10289cb5ae51532b524>>.

TRAPPEY, A.; TRAPPEY, C.; MA, L.; CHANG, J. Intelligent engineering asset management system for power transformer maintenance decision supports under various operating conditions. *Computers and Industrial Engineering*, v. 84, p. 3–11, 2015. Cited By 21. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84939981336&doi=10.1016%2fj.cie.2014.12.033&partnerID=40&md5=70aad68812d814155c85714d846ef049>>.

TRIANANTAPHYLLOU, E.; LIN, C.-T. Development and evaluation of five fuzzy multiattribute decision-making methods. *international Journal of Approximate reasoning*, Elsevier, v. 14, n. 4, p. 281–310, 1996.

TRIVELLA, A.; NADARAJAH, S.; FLETEN, S.-E.; MAZIERES, D.; PISINGER, D. Managing shutdown risk in merchant commodity and energy production. *SSRN Electr. J*, v. 3034869, 2017.

TRIVELLA, A.; NADARAJAH, S.; FLETEN, S.-E.; MAZIERES, D.; PISINGER, D. Managing shutdown decisions in merchant commodity and energy production: A social commerce perspective. *Manufacturing & Service Operations Management*, Informs, v. 23, n. 2, p. 311–330, 2021.

TSANG, A. H.; JARDINE, A. K.; CAMPBELL, J. D.; PICKNELL, J. V. Reliability-centred maintenance: a key to maintenance excellence. *City University of Hong Kong, Hong Kong (internet publication)*, 2000.

VAIDYA, O. S.; KUMAR, S. Analytic hierarchy process: An overview of applications. *European Journal of operational research*, Elsevier, v. 169, n. 1, p. 1–29, 2006.

VALE, Z. A.; MORAIS, H.; KHODR, H.; CANIZES, B.; SOARES, J. Technical and economic resources management in smart grids using heuristic optimization methods. In: *IEEE PES General Meeting*. [S.l.: s.n.], 2010. p. 1–7. ISSN 1932-5517.

VALENTE, A.; ALMEIDA, U. A.; RAMALHO, C. J.; STRAUCH, U. M. Priorização de investimentos em melhoramentos de sistemas de distribuição. 2003.

VARELA, M. L. R.; BARBOSA, R.; PUTNIK, G. D. Experimental platform for collaborative inter and intra cellular fuzzy scheduling in an ubiquitous manufacturing system. p. 220–229, 2011.

VASCONCELOS, F. M. de; ALMEIDA, C. F. M.; KAGAN, N.; JÚNIOR, J. D.; VIANA, F. E.; DOMINICE, A.; JÚNIOR, J. D. de S. Uma metodologia baseada em algoritmo genético para priorização de inspeções em concessionárias de distribuição de energia elétrica. *Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos-SBSE*, v. 1, n. 1, 2020.

VERNAZZA, G.; ZUNINO, R. A distributed intelligence methodology for railway traffic control. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, v. 39, n. 3, p. 263–270, Aug 1990. ISSN 0018-9545.

VIEIRA, C. E. N. *Um modelo para tomada de decisão no planejamento de frota de veículo de transporte rodoviário de cargas*. Dissertação (Mestrado), 1990.

VIEIRA, M. C. *CONTROLADOR DE DEMANDA DE ENERGIA UTILIZANDO INTELIGÊNCIA COMPUTACIONAL*. Dissertação (Mestrado), 2016.

VILELA, J.; CASTRO, J.; PIMENTEL, J. A systematic process for obtaining the behavior of context-sensitive systems. *Journal of Software Engineering Research and Development*, Springer, v. 4, p. 1–57, 2016.

VU, H. C. *Stratégies de regroupement pour la maintenance des systèmes à composants multiples avec structure complexe*. Tese (Doutorado) — Université de Technologie de Troyes, 2015.

WAGNER, J. Gestión de activos. 2014.

WANG, C.-Y.; HUANG, H.-Y.; HWANG, R.-H. Mobility management in ubiquitous environments. *Personal Ubiquitous Comput.*, Springer-Verlag, London, UK, UK, v. 15, n. 3, p. 235–251, mar. 2011. ISSN 1617-4909. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s00779-010-0328-2>.

WANG, D.; XU, J. A fuzzy multi-objective decision making model of the advertising budgeting allocation and its application to an it company. In: *2008 4th IEEE International Conference on Management of Innovation and Technology*. [S.l.: s.n.], 2008. p. 740–745.

WANG, F.-Z.; LI, P.; ZHANG, M. Intelligent decision support platform for disaster management in railways. In: . Orlando, FL, United states: [s.n.], 2009. v. 3, p. 178 – 182. Collaborative systems;Decision supports;Disaster management;Emergency;Emergency decision support;Intelligent decision support;Railway;Wireless communications;.

WANG, X.; TRIANTAPHYLLOU, E. Ranking irregularities when evaluating alternatives by using some multi-criteria decision analysis methods. *Industrial and Systems Engineering*, p. 819, 2014.

WANG, Y.-M.; LUO, Y. On rank reversal in decision analysis. *Mathematical and Computer Modelling*, Elsevier, v. 49, n. 5-6, p. 1221–1229, 2009.

WANG, Y.-M.; LUO, Y.; HUA, Z. On the extent analysis method for fuzzy ahp and its applications. *European journal of operational research*, Elsevier, v. 186, n. 2, p. 735–747, 2008.

WESTPHAL, H. *Algoritmo genético aplicado à Otimização multiobjetivo em redes de distribuição de petróleo e derivados*. Dissertação (Mestrado) — Dissertação de Mestrado Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e . . . , 2006.

WOHLIN, C.; RUNESON, P.; HÖST, M.; OHLSSON, M. C.; REGNELL, B.; WESSLÉN, A. *Experimentation in software engineering*. [S.l.]: Springer Science & Business Media, 2012.

- XIANG, X.; LI, Q.; KHAN, S.; KHALAF, O. I. Urban water resource management for sustainable environment planning using artificial intelligence techniques. *Environmental Impact Assessment Review*, Elsevier, v. 86, p. 106515, 2021.
- YAMAMOTO, L. *Um modelo baseado em metaheurística para o sequeciamento de bateladas em redes dutoviárias*. Tese (Doutorado), 2009.
- YANG, M.; JIA, L.; XIE, W.; GAO, T. Research on risk assessment model of epidemic diseases in a certain region based on markov chain and ahp. *IEEE Access*, IEEE, v. 9, p. 75826–75839, 2021.
- YAVUZ, A. A. Estimation of the shape parameter of the weibull distribution using linear regression methods: Non-censored samples. *Quality and Reliability Engineering International*, Wiley Online Library, v. 29, n. 8, p. 1207–1219, 2013.
- YU, X.; XU, Z.; LIU, S. Prioritized multi-criteria decision making based on preference relations. *Computers & Industrial Engineering*, Elsevier, v. 66, n. 1, p. 104–115, 2013.
- ZADEH, L. A. Information and control. *Fuzzy sets*, v. 8, n. 3, p. 338–353, 1965.
- ZAMPOLLI MARISA E ASSOCIATION, I. C. *Gestão de ativos guia para a aplicação da norma abnt nbr iso 55001*. 2015.
- ZAMPOLLI MARISA E ASSOCIATION, I. C. *Gestão de ativos guia para a aplicação da norma abnt nbr iso 55001 considerando as diretrizes da iso 55002*. 2018.
- ZHAI, L.-Y.; LU, W.-F.; LIU, Y.; LI, X.; VACHTSEVANOS, G. Analysis of time-to-failure data with weibull model in product life cycle management. Springer, p. 699–703, 2013.
- ZHOU, X.; JIN, Y.; ZHANG, H.; LI, S.; HUANG, X. A map of threats to validity of systematic literature reviews in software engineering. p. 153–160, 2016.
- ZYTOON, M. A. A decision support model for prioritization of regulated safety inspections using integrated delphi, ahp and double-hierarchical topsis approach. *IEEE Access*, IEEE, v. 8, p. 83444–83464, 2020.

APÊNDICE A – ETAPA 1 - SELEÇÃO PRELIMINAR DA RSL

Tabela 99 – Fonte de Busca: IEEE Xplore (*string* en-US)

Fonte de Busca: IEEE Xplore
String de Busca: (intellig* OR algorit* OR smart) AND (priorit* OR "decision making") AND ("asset management"OR "resource management"OR "equipment management"OR "network management") AND (approach OR technique OR method* OR model* OR guide) no título, <i>abstract</i> e palavras- chaves
URL da base de dados: https://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp
Idioma da String de Busca: inglês
Data de realização da pesquisa: 14/10/2018
Resultados: 1.829
Data de reexecução da pesquisa: 03/03/2021
Resultados: 707

Fonte: A autora

Tabela 100 – Fonte de Busca: IEEE Xplore (*string* pt-BR)

Fonte de Busca: IEEE Xplore
String de Busca: (intelig* OR algorit*) AND (priori* OR "tomada de decisao") AND (gestao de AND (ativo OR recurso OR equipamento OR rede)) AND (abordagem OR tecnica OR met* OR model* OR guia) no título, <i>abstract</i> e palavras-chaves
URL da base de dados: https://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp
Idioma da String de Busca: português
Data de realização da pesquisa: 14/10/2018
Resultados: 0
Data de reexecução da pesquisa: 03/03/2021
Resultados: 0

Fonte: A autora

Tabela 101 – Fonte de Busca: ACM (*string* en-US)

Fonte de Busca: ACM
<i>String</i> de Busca: ((acmdlTitle:priorit* OR "decision making") AND (acmdlTitle:approach OR technique OR method* OR model* OR guide) AND (acmdlTitle:"asset management"OR "resource management"OR "equipment management"OR "network management") AND (acmdlTitle:intellig* OR algorit* OR smart)) OR ((recordAbstract:priorit* OR "decision making") AND (recordAbstract:approach OR technique OR method* OR model* OR guide) AND (recordAbstract:"asset management"OR "resource management"OR "equipment management"OR "network management") AND (recordAbstract:intellig* OR algorit* OR smart)) OR ((keywords.author.keyword:priorit* OR "decision making") AND (keywords.author.keyword:approach OR technique OR method* OR model* OR guide) AND (keywords.author.keyword:"asset management"OR "resource management"OR "equipment management"OR "network management") AND (keywords.author.keyword:intellig* OR algorit* OR smart))
URL da base de dados: http://dl.acm.org/
Idioma da <i>String</i> de Busca: inglês
Data de realização da pesquisa: 01/10/2018
Resultados: 166
Data de reexecução da pesquisa: 03/03/2021
Resultados: 537
Guide to the Computing Literature: Não

Fonte: A autora

Tabela 102 – Fonte de Busca: ACM (*string* pt-BR)

Fonte de Busca: ACM
<i>String</i> de Busca: ((acmdlTitle:priori* OR "tomada de decisao") AND (acmdlTitle:abordagem OR tecnica OR met* OR model* OR guia) AND (acmdlTitle:"gestão de ativo"OR "gestão de recurso"OR "gestão de equipamento"OR "gestão de rede") AND (acmdlTitle:intelig* OR algorit*)) OR ((recordAbstract:priori* OR "tomada de decisao") AND (recordAbstract:abordagem OR tecnica OR met* OR model* OR guia) AND (recordAbstract:"gestão de ativo"OR "gestão de recurso"OR "gestão de equipamento"OR "gestão de rede") AND (recordAbstract:intelig* OR algorit*)) OR ((keywords.author.keyword:priori* OR "tomada de decisao") AND (keywords.author.keyword:abordagem OR tecnica OR met* OR model* OR guia) AND (keywords.author.keyword:"gestão de ativo"OR "gestão de recurso"OR "gestão de equipamento"OR "gestão de rede") AND (keywords.author.keyword:intelig* OR algorit*))
URL da base de dados: http://dl.acm.org/
Idioma da <i>String</i> de Busca: português
Data de realização da pesquisa: 01/10/2018
Resultados: 0
Data de reexecução da pesquisa: 03/03/2021
Resultados: 0
Guide to the Computing Literature: Não

Fonte: A autora

Tabela 103 – Fonte de Busca: Science Direct (*string* en-US)

Fonte de Busca: Science Direct
String de Busca: (intelligent OR algorithm) AND (prioritization OR "decision making") AND ("asset management"OR "resource management") AND (approach OR method OR methodology) no título, <i>abstract</i> e palavras- chaves
URL da base de dados: http://www.sciencedirect.com/
Idioma da String de Busca: inglês
Data de realização da pesquisa: 01/10/2018
Resultados: 14
Data de reexecução da pesquisa: 03/03/2021
Resultados: 25

Fonte: A autora

Tabela 104 – Fonte de Busca: Science Direct (*string* pt-BR)

Fonte de Busca: Science Direct
String de Busca: (inteligente OR algoritmo) AND (priorização OR "tomada de decisao") AND (gestao de AND (ativo OR recurso)) AND (metodologia OR modelo) no título, <i>abstract</i> e palavras- chaves
URL da base de dados: http://www.sciencedirect.com/
Idioma da String de Busca: português
Data de realização da pesquisa: 01/10/2018
Resultados: 0
Data de reexecução da pesquisa: 03/03/2021
Resultados: 0

Fonte: A autora

Tabela 105 – Fonte de Busca: Scopus (*string* en-US)

Fonte de Busca: Scopus
String de Busca: TITLE-ABS-KEY ((intellig* OR algorit* OR smart) AND (priorit* OR "decision making") AND ("asset management"OR "resource management"OR "equipment management"OR "network management") AND (approach OR technique OR method* OR model* OR guide))
URL da base de dados: https://www.scopus.com
Idioma da String de Busca: inglês
Data de realização da pesquisa: 01/10/2018
Resultados: 1.942
Data de reexecução da pesquisa: 04/03/2021
Resultados: 799

Fonte: A autora

Tabela 106 – Fonte de Busca: Scopus (*string* pt-BR)

Fonte de Busca: Scopus
String de Busca: TITLE-ABS-KEY ((intelig* OR algorit*) AND (priori* OR "tomada de decisao") AND (gestao de AND (ativo OR recurso OR equipamento OR rede)) AND (abordagem OR tecnica OR met* OR model* OR guia))
URL da base de dados: https://www.scopus.com
Idioma da String de Busca: português
Data de realização da pesquisa: 01/10/2018
Resultados: 0
Data de reexecução da pesquisa: 04/03/2021
Resultados: 0

Fonte: A autora

Tabela 107 – Fonte de Busca: Engineering Village (*string* en-US)

Fonte de Busca: Engineering Village
String de Busca: (intellig* OR algorit* OR smart) AND (priorit* OR "decision making") AND ("asset management"OR "resource management"OR "equipment management"OR "network management") AND (approach OR technique OR method* OR model* OR guide) in Title, abstract, keywords
URL da base de dados: https://www.engineeringvillage.com
Idioma da String de Busca: inglês
Data de realização da pesquisa: 03/11/2018
Resultados: 1.369
Data de reexecução da pesquisa: 04/03/2021
Resultados: 455

Fonte: A autora

Tabela 108 – Fonte de Busca: Engineering Village (*string* pt-BR)

Fonte de Busca: Engineering Village
String de Busca: (intelig* OR algorit*) AND (priori* OR "tomada de decisao") AND (gestao de AND (ativo OR recurso OR equipamento OR rede)) AND (abordagem OR tecnica OR met* OR model* OR guia) in Title, abstract, keywords
URL da base de dados: https://www.engineeringvillage.com
Idioma da String de Busca: português
Data de realização da pesquisa: 03/11/2018
Resultados: 0
Data de reexecução da pesquisa: 04/03/2021
Resultados: 0

Fonte: A autora

Tabela 109 – Fonte de Busca: Repositório da Capes (*string* en-US)

Fonte de Busca: Repositório Digital de Teses e Dissertações da Capes
String de Busca: (intelligent OR algorithm) AND (prioritization OR "decision making") AND ("asset management"OR "resource management") AND (approach OR method OR methodology) no título, <i>abstract</i> e palavras- chaves
URL da base de dados: http://catalogodeteses.capes.gov.br/catalogo-teses/#!/
Idioma da String de Busca: inglês
Data de realização da pesquisa: 01/10/2018
Resultados: 7
Data de reexecução da pesquisa: 14/05/2021
Resultados: 0

Fonte: A autora

Tabela 110 – Fonte de Busca: Repositório da Capes (*string* pt-BR)

Fonte de Busca: Repositório Digital de Teses e Dissertações da Capes
String de Busca: (inteligente OR algoritmo) AND (priorização OR "tomada de decisao") AND (gestao de AND (ativo OR recurso)) AND (metodologia OR modelo) no título, <i>abstract</i> e palavras- chaves
URL da base de dados: http://catalogodeteses.capes.gov.br/catalogo-teses/#!/
Idioma da String de Busca: português
Data de realização da pesquisa: 27/10/2018
Resultados: 453
Data de reexecução da pesquisa: 14/05/2021
Resultados: 0

Fonte: A autora

A Tabela 111 mostra a quantidade de estudos, retornados do repositório da capes, em inglês (en-US) e português (pt-BR) anteriores e posteriores à plataforma sucupira. Além disso, também são exibidos 2 totais: um vertical (linha) por tipo de estudo (dissertação, tese, mestrado profissional e profissionalizante) e outro na horizontal (coluna) por idioma anteriores e posteriores à plataforma sucupira, por exemplo, na primeira linha obteve-se um total de 300 dissertações distribuídas da seguinte forma: 1 em inglês anterior à plataforma sucupira, 134 em português também anteriores à plataforma sucupira, 4 em inglês posteriores à plataforma sucupira e, por fim, 161 em português também posteriores à

plataforma sucupira. Já na primeira coluna obteve-se um total 1 estudo do tipo distribuídas da seguinte forma: 1 dissertação, 0 teses, 0 mestrados profissionais anteriores e 0 profissionalizantes em inglês anteriores à plataforma sucupira.

Tabela 111 – Quantidade de estudos do Capes

TIPO DE ESTUDO	ANTERIOR		POSTERIOR		TOTAL
	en-US	pt-BR	en-US	pt-BR	
DISSERTAÇÃO	1	134	4	161	300
TESE	0	40	2	76	118
MESTRADO					
PROFISSIONAL	0	0	0	22	22
PROFISSIONA-					
LIZANTE	0	20	0	0	20
TOTAL	1	194	6	259	460
			460		

Fonte: A autora

APÊNDICE B – ETAPA 2 - EXCLUÍDOS PRIMEIRA SELEÇÃO

Tabela 112 – Quantidade e Porcentagem dos Estudos Excluídos x Critérios de Exclusão de acordo com os Engenhos de Busca (1ª Seleção)

Critérios de Exclusão	1ª Seleção (Análise do título, palavra-chave e <i>abstract</i>)					TOTAL
	IEEE	Science Direct	ACM	Scopus	Engineering Village	
Não está relacionado ao tema da RSL	1.306 (47,37%)	10 (0,36%)	306 (11,10%)	1.011 (36,67%)	124 (4,50%)	2.757 (45,35%)
Não possui informações bibliográficas	16 (100,00%)	-	-	-	-	16 (0,26%)
Estudo está duplicado	1 (0,05%)	-	9 (0,48%)	322 (17,08%)	1.553 (82,39%)	1.885 (31,01%)
Não responde as questões de pesquisa	437 (30,75%)	12 (0,84%)	264 (18,58%)	668 (47,01%)	40 (2,81%)	1.421 (23,38%)
TOTAL	1.760 (28,95%)	22 (0,36%)	579 (9,52%)	2.001 (32,92%)	1.717 (28,24%)	6.079 (100%)

APÊNDICE C – ETAPA 3 - EXCLUÍDOS SEGUNDA SELEÇÃO

Tabela 113 – Quantidade e Porcentagem dos Estudos Excluídos x Critérios de Exclusão de acordo com os Engenhos de Busca (2ª Seleção)

Critérios de Exclusão	2ª Seleção (Análise da introdução e conclusão)					TOTAL
	IEEE	Science Direct	ACM	Scopus	Engineering Village	
Não está relacionado ao tema da RSL	279 (34,79%)	3 (0,37%)	51 (6,36%)	428 (53,37%)	41 (5,11%)	802 (49,32%)
Estudo está incompleto	8 (30,77%)	-	2 (7,69%)	11 (42,31%)	5 (19,23%)	26 (1,60%)
Não está nos idiomas inglês ou português	5 (50,00%)	-	-	3 (30,00%)	2 (20,00%)	10 (0,62%)
Estudo está duplicado	-	1 (12,50%)	-	2 (25,00%)	5 (62,50%)	8 (0,49%)
Não é gratuito	-	-	-	1 (100,00%)	-	1 (0,06%)
Estudo secundário	-	-	-	2 (66,67%)	1 (33,33%)	3 (0,18%)
Não responde as questões de pesquisa	437 (56,98%)	3 (0,39%)	53 (6,91%)	244 (31,81%)	30 (3,91%)	767 (47,17%)
Não aplica tecnologia de IA	6 (66,67%)	1 (11,11%)	2 (22,22%)	-	-	9 (0,55%)
Total	735 (45,20%)	8 (0,49%)	108 (6,64%)	691 (42,50%)	84 (5,17%)	1.626 (100%)

APÊNDICE D – ETAPA 4 - SELEÇÃO FINAL DA RSL

Tabela 114 – Lista de Estudos Incluídos na RSL

ID	Autor	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10	Total	%
d1	(MOREIRA, 2009)	1	1	1	1	1	1	0.5	1	1	0.5	9	90.0
d2	(SANTOS, 2009)	1	0.5	1	1	1	0	1	1	1	0.5	8.0	80.0
d3	(PINHEIRO, 2017)	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0.5	8.5	85.0
d4	(MARQUES, 2016)	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0.5	8.5	85.0
t5	(CARVALHO, 2006)	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0.5	8.5	85.0
d6	(RIOS, 2012)	1	0.5	1	1	1	0.5	1	1	1	0	8	80.0
d7	(PEIXOTO, 2015)	1	1	1	1	1	0.5	0.5	1	1	0.5	8.5	85.0
t8	(BEZERRA, 2015)	1	0.5	1	1	1	0	1	1	1	1	8.5	85.0
t9	(FILHO, 2006)	1	1	1	1	0.5	0	0.5	0.5	1	0.5	7	70.0
d10	(MECABÔ, 2007)	1	0.5	1	1	1	0	1	1	1	1	8.5	85.0
t11	(PIASSON, 2014)	1	1	1	1	1	0.5	0.5	1	1	0	8	80.0
t12	(SANTOS, 2016)	1	0.5	1	1	1	0.5	1	1	1	0	8	80.0
d13	(VIEIRA, 1990)	1	0.5	1	1	1	0	0.5	1	1	1	8	80.0
d14	(WESTPHAL, 2006)	1	1	1	1	1	0.5	0.5	1	1	0	8	80.0
d15	(JUNIOR, 2008)	1	0.5	1	1	1	0.5	1	1	1	0	8	80.0
t16	(YAMAMOTO, 2009)	1	1	1	1	1	0.5	1	1	1	0.5	9	90.0
d17	(LOPES, 2017)	1	1	1	1	0.5	0	0.5	1	1	0.5	7.5	75.0
d18	(LUIZ, 2015)	1	1	1	1	1	0.5	0.5	1	1	0	8.0	80.0
d19	(FILHO, 2003)	1	0.5	1	1	1	1	1	1	1	0	8.5	85.0
d20	(RESE, 2017)	1	1	1	1	0.5	0	0.5	0.5	1	0.5	7.0	70.0
d21	(BEZERRA, 2017)	1	1	1	1	1	0.5	1	1	1	0.5	9.0	90.0
d22	(SANTOS; GERAIS, 2012)	1	0.5	1	1	1	0	1	1	1	0	7.5	75.0
d23	(SANTOS, 2009)	1	1	1	1	0.5	0	0.5	0.5	1	0.5	7.0	70.0
t24	(BORGES, 2016)	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0.5	8.5	85.0
d25	(RESTREPO, 2016)	1	1	1	1	0.5	0	1	1	1	0.5	8.0	80.0

t26	(SANTO, 2018)	1	0.5	1	1	1	0.5	1	1	1	0	8.0	80.0
d27	(MARQUES, 2013)	1	1	1	1	0.5	0	0.5	0.5	1	0.5	7.0	70.0
d28	(VIEIRA, 2016)	1	0.5	1	1	1	0	1	1	1	1	8.5	85.0
t29	(ONAKA, 2017)	1	1	1	1	0.5	0	0.5	0.5	1	0.5	7.0	70.0
t30	(BARBOSA, 2012)	1	0.5	1	1	1	0.5	1	1	1	0	8.0	80.0
t31	(MAGALHÃES, 2008)	1	0.5	1	1	1	0.5	1	1	1	0	8.0	80.0
t32	(PAIVA, 2016)	1	1	1	1	0.5	0	0.5	1	1	0.5	7.5	75.0
t33	(MARCELINO, 2017)	1	1	1	1	1	0.5	1	1	1	0.5	9.0	90.0
d34	(CAVALCA, 2013)	1	1	1	1	0.5	0.5	0.5	1	1	1	8.5	85.0
s35	(BRETTHAUER et al., 1998)	1	1	1	1	0.5	0	1	1	1	0.5	8.0	80.0
s36	(ATEF; OSMAN; MOSELHI, 2011)	1	1	1	1	0.5	0	0.5	0.5	1	0.5	7.0	70.0
s37	(STEINMAN; BANOVEC; ANTL, 2001)	1	1	1	1	1	0.5	1	1	1	0.5	9.0	90.0
s38	(WANG; LI; ZHANG, 2009)	1	1	1	1	0.5	0.5	0.5	1	1	1	8.5	85.0
s39	(VERNAZZA; ZUNINO, 1990)	1	1	1	1	0.5	0.5	0.5	1	1	1	8.5	85.0
s40	(QURESHI, 2000)	1	1	1	1	1	0.5	1	1	1	0.5	9.0	90.0
s41	(MAGOULAS; GHINEA, 2001)	1	1	1	1	0.5	0	0.5	1	1	0.5	7.5	75.0
s42	(HONGYAN; CHEN; LINGGE, 2003)	1	1	1	1	0.5	0	1	1	1	0.5	8.0	80.0
s43	(BOUKERCHE; LOUNIS, 2005)	1	1	1	1	0.5	0	1	1	1	0.5	8.0	80.0
s44	(ALKHWLANI; AYESH, 2007)	1	1	1	1	0.5	0	0.5	0.5	1	0.5	7.0	70.0
s45	(WANG; XU, 2008)	1	1	1	1	0.5	0	0.5	1	1	0.5	7.5	75.0
s46	(MIANABADI; AFSHAR, 2009)	1	1	1	1	0.5	1	0.5	1	1	1	9.0	90.0
s47	(LIANHAI; ZHIPING; NANXIANG, 2010)	1	1	1	1	0.5	0	0.5	0.5	1	0.5	7.0	70.0
s48	(LI, 2010)	1	1	1	1	0.5	0	0.5	0.5	1	0.5	7.0	70.0
s49	(MOU; NA, 2010)	1	1	1	1	0.5	0.5	0.5	1	1	0.5	8.0	80.0
S50	(VALE et al., 2010)	1	1	1	1	0.5	0.5	0.5	1	1	1	8.5	85.0
s51	(JIANG; BAO, 2010)	1	1	1	1	0.5	0	0.5	1	1	0.5	7.5	75.0
s52	(MEHBODNIYA et al., 2012)	1	1	1	1	0.5	1	0.5	1	1	0.5	8.5	85.0
s53	(PREDESCU et al., 2018)	1	1	1	1	0.5	0	1	1	1	0.5	8.0	80.0
s54	(ROCHA et al., 2018)	1	1	1	1	0.5	0.5	0.5	1	1	1	8.5	85.0
s55	(HELMBRECHT; PASTOR; MOYA, 2017)	1	1	1	1	0.5	0	0.5	1	1	0.5	7.5	75.0
s56	(MARZOUK; OSAMA, 2017)	1	1	1	1	0.5	1	1	1	1	0.5	9.0	90.0

s57	(ALDHUBAIB; SALAMA, 2014)	1	1	1	1	0.5	0	0.5	0.5	1	0.5	7.0	70.0
s58	(BAI; LABI; SINHA, 2012)	1	1	1	1	0.5	0	0.5	1	1	0.5	7.5	75.0
s59	(BULUT et al., 2012)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.5	9.5	95.0
s60	(CHRISTODOULOU et al., 2008)	1	1	1	1	0.5	0	0.5	0.5	1	0.5	7.0	70.0
s61	(CHRISTODOULOU; DELIGIANNI, 2010)	1	1	1	1	1	0.5	1	1	1	0.5	9.0	90.0
s62	(RHEIN et al., 2016)	1	1	1	1	1	0.5	1	1	1	0.5	9.0	90.0
s63	(RHEIN; BALZER; RENZ, 2017)	1	1	1	1	1	0.5	1	1	1	0.5	9.0	90.0
s64	(SHOGLI; GARZA, 2017)	1	1	1	1	0.5	0.5	0.5	1	1	1	8.5	85.0
s65	(TRAN; MARLOW; MAY, 2010)	1	1	1	1	0.5	0	1	1	1	0.5	8.0	80.0
s66	(TRAPPEY et al., 2015)	1	1	1	1	0.5	0.5	0.5	1	1	1	8.5	85.0
s67	(WANG; HUANG; HWANG, 2011)	1	0.5	1	1	1	1	0.5	1	1	0.5	8.5	85.0
s68	(MOREIRA; DUPONT, 2011)	1	1	1	1	1	1	0.5	1	1	0.5	9.0	90.0
s69	(SANTOS; VELLASCO; TANSCHKEIT, 2009)	1	0.5	1	1	1	0	1	1	1	0.5	8.0	80.0
s70	(MARQUES; CARRANO; SALDANHA, 2016)	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0.5	8.5	85.0
s71	(RIOS; MONTEIRO; CUNHA, 2013)	1	0.5	1	1	1	0.5	1	1	1	0	8.0	80.0
s72	(BEZERRA et al., 2014)	1	0.5	1	1	1	0	1	1	1	1	8.5	85.0
s73	(ATTADEMO et al., 2005)	1	1	1	1	0.5	0	0.5	0.5	1	0.5	7.0	70.0
s74	(PIASSON et al., 2016)	1	1	1	1	1	0.5	0.5	1	1	0	8.0	80.0
s75	(VALENTE et al., 2003)	1	0.5	1	1	1	1	1	1	1	0	8.5	85.0
s76	(NETO et al., 2016)	1	1	1	1	0.5	0	0.5	0.5	1	0.5	7.0	70.0
s77	(SANTOS; MATEUS, 2008)	1	1	1	1	0.5	0	0.5	0.5	1	0.5	7.0	70.0
s78	(MARQUES et al., 2015)	1	1	1	1	0.5	0	0.5	0.5	1	0.5	7.0	70.0
s79	(MARCELINO et al., 2019)	1	1	1	1	1	0.5	1	1	1	0.5	9.0	90.0
s80	(XIANG et al., 2021)	1	0.5	1	1	1	0	1	1	1	1	8.5	85.0
s81	(BOLOS et al., 2020)	1	1	1	1	0.5	0	0.5	0.5	1	0.5	7.0	70.0
s82	(RASTEGARI; MOBIN, 2016)	1	1	1	1	1	0.5	0.5	1	1	0	8.0	80.0

Fonte: A autora

APÊNDICE E – ARTEFATOS DO PROCESSO SMIPP

Tabela 115 – Artefatos do processo SMIPP

Artefato	Entrada	Saída
Etapa 1		
Informações sobre o sistema e seus componentes tais como, nome, componentes, função do sistema, ativo que o sistema faz parte, função que cada componente executa no sistema.	X	-
Diagrama de confiabilidade do sistema (RBD)	-	X
Criticidade dos componentes do sistema	-	X
Sistema de interesse e componentes selecionados	-	X
Sistema e componentes selecionados com escopo delimitado	-	X
Etapa 2		
Sistema e componentes com escopo delimitado	X	-
Fontes dos dados	X	-
Fonte de dados do sistema e componentes selecionada	-	X
Dados de manutenção do sistema e componentes	-	X
Dados de manutenção do sistema e componentes organizados	-	X
Dados de manutenção do sistema e componentes analisados	-	X
Atividades de manutenção propostas	-	X

Atividades de manutenção categorizadas	-	X
Tarefas preparatórias das atividades de manutenção propostas	-	X
Custo fixo e variável das atividades de manutenção	-	X
Custo das tarefas preparatórias	-	X
Etapa 3		
Atividades de manutenção categorizadas	X	-
Tarefas preparatórias das atividades de manutenção propostas	X	-
Custo fixo e variável das atividades de manutenção	X	-
Custo das tarefas preparatórias	X	-
Dados estratégicos definidos	-	X
Unidade(s) de medida dos dados estratégicos determinada	-	X
Dados estratégicos com valores estipulados	-	X
Cenário(s) de manutenção definido(s)	-	X
Cenário(s) de manutenção selecionado(s)	-	X
Etapa 4		
Custo fixo e variável das atividades de manutenção	X	-
Custo das tarefas preparatórias	X	-
Cenário(s) de manutenção selecionado(s)	X	-
Dados de manutenção do sistema e dos componentes	X	-
Início e final do horizonte de planejamento	X	-

Custo ótimo da penalidade devido as alterações nos períodos das atividades de manutenção	X	-
Custo da tarefa preparatória do grupo	X	-
Custo total da penalidade devido as alterações nos períodos das indisponibilidades planejadas	X	-
Número de operações de manutenção preventiva do grupo	X	-
Custo da atividade de manutenção preventiva do componente	-	X
Custo da atividade de manutenção corretiva do componente	-	X
Idade ótima de substituição preventiva do componente	-	X
Período da atividade de manutenção preventiva do componente	-	X
Final do horizonte de planejamento	-	X
Custo médio ótimo do componente	-	X
Custo da tarefa preparatória do grupo	-	X
Período mínimo das atividades de manutenção preventiva dos componentes do grupo	-	X
Diferença entre período e o mínimo das atividades de manutenção preventiva dos componentes do grupo	-	X
Custo da alteração nos períodos das atividades de manutenção dos componentes do grupo	-	X
Custo total da penalidade devido as alterações nos períodos das atividades de manutenção	-	X
Custo total da penalidade devido as alterações nos períodos das indisponibilidades planejadas	-	X
Soma do custo médio dos componentes quando são mantidos individualmente	-	X
Custo total de manutenção dos componentes individuais	-	X
Estruturas de agrupamento	-	X
Custo ótimo da penalidade devido as alterações nos períodos das atividades de manutenção	-	X

Lucro econômico das atividades de manutenção do grupo	-	X
Lucro econômico das atividades de manutenção de uma estrutura de agrupamento	-	X
Custo total de manutenção dos componentes agrupados	-	X
Estrutura de agrupamento	-	X
Resultado da comparação dos custos total de manutenção individual e agrupada	-	X
Etapa 5		
Estrutura de agrupamento.	X	-
Custo da dimensão Produção	-	X
Custo da dimensão Recurso	-	X
Custo da dimensão Risco antes da manutenção	-	X
Custo da dimensão Risco depois da manutenção	-	X
Etapa 6		
Custo da dimensão Produção	X	-
Custo da dimensão Recurso	X	-
Custo da dimensão Risco antes da manutenção	X	-
Custo da dimensão Risco depois da manutenção	X	-
Cenário(s) de manutenção selecionado(s)	X	-
Dados de manutenção do sistema e dos componentes	X	-
Índice Investimento na manutenção	-	X
Índice Orçamento	-	X

Índice Tempo	-	X
Etapa 7		
Estrutura de agrupamento	X	-
Índice Investimento na manutenção	X	-
Índice Orçamento	X	-
Índice Tempo	X	-
Índice randômico	X	-
Matriz criada	-	X
Matriz preenchida com termos linguístico	-	X
Matriz com números da escala Saaty	-	X
Matriz normalizada	-	X
Autorvalor da matriz	-	X
Índice de consistência da matriz	-	X
Vetores de prioridade da matriz	-	X
Razão de consistência da matriz	-	X
Matriz fuzzificada	-	X
Medida sintética de cada elemento fuzzificado da matriz	-	X
Grau de possibilidade de cada elemento da matriz	-	X
Valor de preferência de cada elemento da matriz	-	X
Média geométrica de cada elemento <i>fuzzy</i> da matriz	-	X

Peso <i>fuzzy</i> de cada elemento da matriz	-	X
Peso defuzzificado de cada elemento da matriz	-	X
Peso normalizado de cada elemento da matriz - GMM	-	X
Peso normalizado de cada elemento da matriz - FEA	-	X
Pontuação final das atividades de manutenção do grupo	-	X
Atividades de manutenção priorizadas	-	X
Etapa 8		
Atividades de manutenção priorizadas	X	-
Dados de manutenção do sistema e dos componentes	X	-
Cenário(s) de manutenção selecionado(s)	X	-
Atividades de manutenção da próxima parada de manutenção	-	X

Fonte: A autora

APÊNDICE F – DIMENSÕES E ÍNDICES DO *FRAMEWORK* SMPF NA SIMULAÇÃO I

Tabela 116 – Dimensões e índices do *framework* SMPF na simulação I

Grupo	ODC	ReDC	RDC_BM	RDC_AM	MII	BI	TI
01	1.195E+06	2.063E+07	1.824E+06	6.294E+05	5.475e-02	4.348e+02	5.622e+01
02	1.441E+07	1.177E+08	9.190E+05	7.333E+03	6.902e-03	2.481e+03	5.939e+02
03	2.225E+06	4.056E+07	1.409E+05	6.859E+04	1.690e-03	8.551e+02	1.078e+02
04	1.395E+06	2.208E+07	1.661E+05	1.635E+01	7.074e-03	4.654e+02	7.287e+01
05	1.636E+06	2.383E+07	5.140E+05	2.452E-07	2.018e-02	5.024e+02	8.272e+01
06	8.038E+05	1.770E+07	6.249E+04	5.844E+04	2.185e-04	3.731e+02	5.083e+01
07	2.368E+06	2.674E+07	6.309E+04	5.263E+04	3.591e-04	5.637e+02	1.126e+02
01	5.169E+06	5.024E+07	9.212E+04	8.276E+04	1.689e-04	1.059e+03	2.292e+02
08	1.561E+07	1.383E+08	1.386E+07	4.420E+06	6.132e-02	2.916e+03	6.502e+02
09	3.420E+06	6.119E+07	5.618E+06	1.969E+06	5.649e-02	1.290e+03	1.641e+02
10	2.590E+06	4.270E+07	4.121E+06	1.312E+06	6.203e-02	9.002e+02	1.291e+02
11	2.831E+06	4.446E+07	4.919E+06	1.369E+06	7.507e-02	9.372e+02	1.389e+02
12	1.999E+06	3.832E+07	3.530E+06	1.298E+06	5.535e-02	8.079e+02	1.071e+02
13	3.563E+06	4.736E+07	4.379E+06	1.565E+06	5.526e-02	9.985e+02	1.688e+02
14	6.364E+06	7.087E+07	6.583E+06	2.343E+06	5.490e-02	1.494e+03	2.854e+02

15	1.664E+07	1.582E+08	1.791E+06	2.882E+05	8.595e-03	3.336e+03	7.018e+02
16	1.581E+07	1.398E+08	2.171E+06	8.763E+03	1.390e-02	2.946e+03	6.668e+02
17	1.605E+07	1.415E+08	4.241E+06	8.767E+03	2.686e-02	2.983e+03	6.767e+02
18	1.521E+07	1.354E+08	1.549E+06	4.748E+05	7.135e-03	2.854e+03	6.448e+02
19	1.678E+07	1.444E+08	1.470E+06	2.975E+05	7.273e-03	3.044e+03	7.066e+02
20	1.958E+07	1.679E+08	1.617E+06	2.891E+05	7.084e-03	3.540e+03	8.231e+02
21	3.620E+06	6.264E+07	6.854E+05	1.065E+05	8.737e-03	1.321e+03	1.807e+02
22	33.861E+06	6.440E+07	1.598E+06	1.096E+05	2.180e-02	1.358e+03	1.906e+02
23	3.029E+06	5.826E+07	4.077E+05	2.904E+05	1.913e-03	1.228e+03	1.587e+02
24	4.593E+06	6.730E+07	3.926E+05	2.452E+05	2.051e-03	1.419e+03	2.205e+02
25	7.395E+06	9.081E+07	4.864E+05	3.041E+05	1.857e-03	1.914e+03	3.370e+02
26	3.031E+06	4.591E+07	1.334E+06	3.408E+01	2.726e-02	9.678e+02	1.556e+02
27	2.199E+06	3.978E+07	4.391E+05	1.321E+05	7.314e-03	8.385e+02	1.237e+02
28	3.763E+06	4.882E+07	4.854E+05	9.525E+04	7.421e-03	1.029e+03	1.855e+02
29	6.564E+06	7.232E+07	6.862E+05	1.182E+05	7.201e-03	1.525e+03	3.020e+02
30	2.440E+06	4.153E+07	1.038E+06	1.382E+05	2.047e-02	8.755e+02	1.336e+02
31	4.004E+06	5.057E+07	1.219E+06	9.878E+04	2.052e-02	1.066e+03	1.953e+02
32	6.806E+06	7.408E+07	1.759E+06	1.211E+05	2.025e-02	1.562e+03	3.119e+02
33	3.172E+06	4.444E+07	2.634E+05	2.359E+05	5.778e-04	9.368e+02	1.634e+02
34	5.973E+06	6.794E+07	3.701E+05	3.416E+05	3.855e-04	1.432e+03	2.800e+02

35	7.537E+06	7.698E+07	3.233E+05	2.788E+05	5.271e-04	1.623e+03	3.418e+02
36	1.783E+07	1.789E+08	1.838E+07	5.972E+06	6.310e-02	3.771e+03	7.580e+02
37	1.700E+07	1.604E+08	1.724E+07	5.104E+06	6.842e-02	3.381e+03	7.230e+02
38	1.724E+07	1.621E+08	1.976E+07	5.161E+06	8.138e-02	3.418e+03	7.329e+02
39	1.641E+07	1.560E+08	1.613E+07	5.497E+06	6.167e-02	3.289e+03	7.010e+02
40	1.797E+07	1.650E+08	1.690E+07	5.594E+06	6.178e-02	3.479e+03	7.628e+02
41	2.077E+07	1.885E+08	1.922E+07	6.332E+06	6.158e-02	3.975e+03	8.793e+02
42	4.815E+06	8.326E+07	8.294E+06	2.689E+06	6.363e-02	1.755e+03	2.369e+02
43	5.056E+06	8.502E+07	9.656E+06	2.750E+06	7.668e-02	1.792e+03	2.468e+02
44	4.224E+06	7.889E+07	7.528E+06	2.800E+06	5.689e-02	1.663e+03	2.149e+02
45	5.788E+06	8.793E+07	8.362E+06	3.028E+06	5.692e-02	1.854e+03	2.767e+02
46	8.590E+06	1.114E+08	1.063E+07	3.835E+06	5.662e-02	2.349e+03	3.932e+02
47	4.226E+06	6.653E+07	7.871E+06	2.052E+06	8.223e-02	1.403e+03	2.118e+02
48	3.394E+06	6.040E+07	6.037E+06	2.054E+06	6.244e-02	1.273e+03	1.799e+02
49	4.958E+06	6.944E+07	6.933E+06	2.290E+06	6.240e-02	1.464e+03	2.417e+02
50	7.759E+06	9.294E+07	9.308E+06	3.061E+06	6.204e-02	1.959e+03	3.583e+02
51	3.635E+06	6.216E+07	7.086E+06	2.117E+06	7.553e-02	1.310e+03	1.898e+02
52	5.199E+06	7.120E+07	8.116E+06	2.351E+06	7.546e-02	1.501e+03	2.516e+02
53	8.000E+06	9.470E+07	1.083E+07	3.121E+06	7.507e-02	1.996e+03	3.681e+02
54	4.367E+06	6.506E+07	6.223E+06	2.358E+06	5.566e-02	1.372e+03	2.197e+02

55	7.168E+06	8.857E+07	8.504E+06	3.211E+06	5.528e-02	1.867e+03	3.362e+02
56	8.732E+06	9.761E+07	9.306E+06	3.422E+06	5.534e-02	2.058e+03	3.980e+02
57	1.803E+07	1.803E+08	3.422E+06	3.276E+05	1.560e-02	3.801e+03	7.747e+02
58	1.827E+07	1.821E+08	6.056E+06	3.307E+05	2.858e-02	3.838e+03	7.845e+02
59	1.744E+07	1.759E+08	2.626E+06	9.190E+05	8.827e-03	3.709e+03	7.526e+02
60	1.900E+07	1.850E+08	2.531E+06	7.024E+05	8.964e-03	3.900e+03	8.144e+02
61	2.180E+07	2.085E+08	2.743E+06	7.227E+05	8.774e-03	4.395e+03	9.310e+02
62	1.744E+07	1.636E+08	6.147E+06	1.022E+04	3.390e-02	3.449e+03	7.495e+02
63	1.661E+07	1.575E+08	3.012E+06	5.498E+05	1.414e-02	3.319e+03	7.176e+02
64	1.817E+07	1.665E+08	2.978E+06	3.416E+05	1.428e-02	3.510e+03	7.794e+02
65	2.097E+07	1.900E+08	3.297E+06	3.259E+05	1.408e-02	4.005e+03	8.960e+02
66	1.685E+07	1.592E+08	5.333E+06	5.560E+05	2.713e-02	3.356e+03	7.275e+02
67	1.841E+07	1.682E+08	5.433E+06	3.451E+05	2.726e-02	3.547e+03	7.893e+02
68	2.122E+07	1.918E+08	6.092E+06	3.289E+05	2.706e-02	4.042e+03	9.058e+02
69	1.758E+07	1.621E+08	2.238E+06	8.898E+05	7.503e-03	3.418e+03	7.574e+02
70	2.038E+07	1.856E+08	2.463E+06	9.569E+05	7.312e-03	3.913e+03	8.739e+02
71	2.195E+07	1.947E+08	2.336E+06	7.227E+05	7.450e-03	4.104e+03	9.357e+02
72	5.256E+06	8.647E+07	2.797E+06	1.476E+05	2.888e-02	1.823e+03	2.634e+02
73	4.424E+06	8.034E+07	1.163E+06	4.020E+05	8.975e-03	1.694e+03	2.315e+02
74	5.988E+06	8.938E+07	1.193E+06	3.257E+05	9.099e-03	1.884e+03	2.933e+02

75	8.790E+06	1.129E+08	1.459E+06	3.774E+05	8.890e-03	2.380e+03	4.099e+02
76	4.665E+06	8.209E+07	2.326E+06	4.112E+05	2.208e-02	1.731e+03	2.414e+02
77	6.229E+06	9.113E+07	2.491E+06	3.324E+05	2.217e-02	1.921e+03	3.032e+02
78	9.031E+06	1.146E+08	3.096E+06	3.834E+05	2.194e-02	2.417e+03	4.197e+02
79	5.397E+06	8.500E+07	7.972E+05	5.918E+05	2.272e-03	1.792e+03	2.713e+02
80	8.198E+06	1.085E+08	9.687E+05	7.263E+05	2.077e-03	2.287e+03	3.878e+02
81	9.763E+06	1.175E+08	9.062E+05	6.240E+05	2.217e-03	2.478e+03	4.496e+02
82	3.835E+06	6.361E+07	2.069E+06	2.119E+05	2.754e-02	1.341e+03	2.064e+02
83	5.399E+06	7.265E+07	2.295E+06	1.414E+05	2.760e-02	1.532e+03	2.682e+02
84	8.201E+06	9.615E+07	3.007E+06	1.565E+05	2.732e-02	2.027e+03	3.848e+02
85	4.567E+06	6.651E+07	8.963E+05	3.521E+05	7.655e-03	1.402e+03	2.363e+02
86	7.368E+06	9.002E+07	1.175E+06	4.506E+05	7.435e-03	1.898e+03	3.529e+02
87	8.932E+06	9.906E+07	1.174E+06	3.568E+05	7.565e-03	2.088e+03	4.146e+02
88	4.808E+06	6.827E+07	1.881E+06	3.618E+05	2.079e-02	1.439e+03	2.462e+02
89	7.609E+06	9.177E+07	2.499E+06	4.597E+05	2.052e-02	1.935e+03	3.627e+02
90	9.173E+06	1.008E+08	2.632E+06	3.632E+05	2.062e-02	2.125e+03	4.245e+02
91	8.341E+06	9.468E+07	7.391E+05	6.624E+05	7.445e-04	1.996e+03	3.926e+02
92	1.923E+07	2.009E+08	2.214E+07	6.694E+06	7.018e-02	4.236e+03	8.309e+02
93	1.947E+07	2.027E+08	2.523E+07	6.754E+06	8.316e-02	4.273e+03	8.407e+02
94	1.863E+07	1.966E+08	2.086E+07	7.213E+06	6.342e-02	4.144e+03	8.088e+02

95	2.020E+07	2.056E+08	2.161E+07	7.269E+06	6.353e-02	4.334e+03	8.706e+02
96	2.300E+07	2.291E+08	2.400E+07	8.037E+06	6.332e-02	4.830e+03	9.872e+02
97	1.864E+07	1.842E+08	2.380E+07	5.846E+06	8.850e-02	3.883e+03	8.058e+02
98	1.780E+07	1.781E+08	1.972E+07	6.255E+06	6.876e-02	3.754e+03	7.739e+02
99	1.937E+07	1.871E+08	2.054E+07	6.320E+06	6.887e-02	3.945e+03	8.356e+02
100	2.217E+07	2.106E+08	2.303E+07	7.052E+06	6.865e-02	4.440e+03	9.522e+02
101	1.805E+07	1.798E+08	2.249E+07	6.318E+06	8.175e-02	3.791e+03	7.837e+02
102	1.961E+07	1.889E+08	2.344E+07	6.381E+06	8.185e-02	3.982e+03	8.455e+02
103	2.241E+07	2.124E+08	2.628E+07	7.112E+06	8.163e-02	4.477e+03	9.621e+02
104	1.878E+07	1.827E+08	1.931E+07	6.796E+06	6.211e-02	3.852e+03	8.136e+02
105	2.158E+07	2.062E+08	2.171E+07	7.610E+06	6.190e-02	4.348e+03	9.302e+02
106	2.314E+07	2.153E+08	2.243E+07	7.649E+06	6.201e-02	4.538e+03	9.919e+02
107	6.451E+06	1.071E+08	1.299E+07	3.470E+06	8.381e-02	2.258e+03	3.197e+02
108	5.619E+06	1.010E+08	1.041E+07	3.595E+06	6.399e-02	2.128e+03	2.878e+02
109	7.183E+06	1.100E+08	1.129E+07	3.792E+06	6.403e-02	2.319e+03	3.495e+02
110	9.985E+06	1.335E+08	1.373E+07	4.591E+06	6.372e-02	2.815e+03	4.661e+02
111	5.860E+06	1.027E+08	1.203E+07	3.661E+06	7.706e-02	2.165e+03	2.976e+02
112	7.424E+06	1.118E+08	1.304E+07	3.855E+06	7.708e-02	2.356e+03	3.594e+02
113	1.023E+07	1.353E+08	1.582E+07	4.654E+06	7.676e-02	2.852e+03	4.760e+02
114	6.592E+06	1.056E+08	1.041E+07	3.985E+06	5.726e-02	2.227e+03	3.275e+02

115	9.393E+06	1.291E+08	1.276E+07	4.867E+06	5.695e-02	2.722e+03	4.441e+02
116	1.096E+07	1.382E+08	1.354E+07	5.038E+06	5.703e-02	2.913e+03	5.058e+02
117	5.030E+06	8.423E+07	1.025E+07	2.873E+06	8.262e-02	1.776e+03	2.626e+02
118	6.594E+06	9.327E+07	1.132E+07	3.076E+06	8.259e-02	1.966e+03	3.244e+02
119	9.395E+06	1.168E+08	1.421E+07	3.839E+06	8.220e-02	2.462e+03	4.410e+02
120	5.762E+06	8.714E+07	8.987E+06	3.157E+06	6.275e-02	1.837e+03	2.925e+02
121	8.563E+06	1.106E+08	1.144E+07	4.003E+06	6.239e-02	2.332e+03	4.091e+02
122	1.013E+07	1.197E+08	1.229E+07	4.182E+06	6.244e-02	2.523e+03	4.709e+02
123	6.003E+06	8.889E+07	1.042E+07	3.224E+06	7.584e-02	1.874e+03	3.024e+02
124	8.804E+06	1.124E+08	1.321E+07	4.069E+06	7.545e-02	2.37e+034	.189e+02
125	1.037E+07	1.214E+08	1.420E+07	4.246E+06	7.549e-02	2.560e+03	4.807e+02
126	9.536E+06	1.153E+08	1.137E+07	4.415E+06	5.567e-02	2.431e+03	4.488e+02
127	1.967E+07	2.041E+08	8.341E+06	3.701E+05	3.561e-02	4.304e+03	8.574e+02
128	1.883E+07	1.980E+08	4.467E+06	1.032E+06	1.584e-02	4.174e+03	8.255e+02
129	2.040E+07	2.071E+08	4.418E+06	7.843E+05	1.597e-02	4.365e+03	8.873e+02
130	2.320E+07	2.306E+08	4.802E+06	7.975E+05	1.578e-02	4.860e+03	1.004e+03
131	1.908E+07	1.998E+08	7.352E+06	1.041E+06	2.884e-02	4.211e+03	8.353e+02
132	2.064E+07	2.088E+08	7.437E+06	7.910E+05	2.897e-02	4.402e+03	8.971e+02
133	2.344E+07	2.323E+08	8.161E+06	8.035E+05	2.877e-02	4.897e+03	1.014e+03
134	1.981E+07	2.027E+08	3.503E+06	1.458E+06	9.193e-03	4.273e+03	8.652e+02

135	2.261E+07	2.262E+08	3.793E+06	1.554E+06	9.001e-03	4.768e+03	9.818e+02
136	2.417E+07	2.352E+08	3.651E+06	1.280E+06	9.139e-03	4.959e+03	1.044e+03
137	1.825E+07	1.813E+08	7.449E+06	6.310E+05	3.417e-02	3.822e+03	8.004e+02
138	1.981E+07	1.903E+08	7.596E+06	3.892E+05	3.429e-02	4.012e+03	8.621e+02
139	2.261E+07	2.138E+08	8.426E+06	3.657E+05	3.409e-02	4.508e+03	9.787e+02
140	1.898E+07	1.842E+08	3.957E+06	1.007E+06	1.452e-02	3.883e+03	8.303e+02
141	2.178E+07	2.077E+08	4.354E+06	1.067E+06	1.432e-02	4.378e+03	9.468e+02
142	2.334E+07	2.167E+08	4.273E+06	8.021E+05	1.446e-02	4.569e+03	1.009e+03
143	1.922E+07	1.859E+08	6.663E+06	1.017E+06	2.752e-02	3.92e+038	1.401e+02
144	2.202E+07	2.094E+08	7.399E+06	1.076E+06	2.732e-02	4.415e+03	9.567e+02
145	2.358E+07	2.185E+08	7.452E+06	8.086E+05	2.745e-02	4.606e+03	1.018e+03
146	2.275E+07	2.124E+08	3.320E+06	1.515E+06	7.676e-03	4.477e+03	9.866e+02
147	6.060E+06	1.042E+08	3.736E+06	5.228E+05	2.915e-02	2.196e+03	3.143e+02
148	7.624E+06	1.132E+08	3.946E+06	4.129E+05	2.924e-02	2.387e+03	3.760e+02
150	1.043E+07	1.367E+08	4.723E+06	4.568E+05	2.899e-02	2.882e+03	4.926e+02
151	6.792E+06	1.071E+08	1.809E+06	7.459E+05	9.332e-03	2.257e+03	3.442e+02
152	9.593E+06	1.306E+08	2.152E+06	8.732E+05	9.121e-03	2.753e+03	4.607e+02
153	1.116E+07	1.396E+08	2.135E+06	7.399E+05	9.253e-03	2.943e+03	5.225e+02
154	7.033E+06	1.088E+08	3.358E+06	7.587E+05	2.243e-02	2.294e+03	3.540e+02
155	9.835E+06	1.323E+08	4.040E+06	8.854E+05	2.219e-02	2.79e+034	3.706e+02

156	1.140E+07	1.414E+08	4.158E+06	7.495E+05	2.231e-02	2.980e+03	5.323e+02
157	1.057E+07	1.352E+08	1.526E+06	1.171E+06	2.437e-03	2.851e+03	5.005e+02
158	6.203E+06	9.035E+07	3.168E+06	4.781E+05	2.786e-02	1.905e+03	3.190e+02
159	9.004E+06	1.139E+08	3.957E+06	5.688E+05	2.758e-02	2.400e+03	4.356e+02
160	1.057E+07	1.229E+08	4.136E+06	4.413E+05	2.769e-02	2.591e+03	4.974e+02
161	9.736E+06	1.168E+08	1.800E+06	8.141E+05	7.795e-03	2.461e+03	4.655e+02
162	9.977E+06	1.185E+08	3.509E+06	8.267E+05	2.088e-02	2.498e+03	4.753e+02
163	2.086E+07	2.248E+08	2.964E+07	7.476E+06	9.025e-02	4.738e+03	9.136e+02
164	2.003E+07	2.186E+08	2.483E+07	8.008E+06	7.049e-02	4.609e+03	8.817e+02
165	2.159E+07	2.277E+08	2.563E+07	8.034E+06	7.060e-02	4.800e+03	9.435e+02
166	2.439E+07	2.512E+08	2.819E+07	8.794E+06	7.039e-02	5.295e+03	1.060e+03
167	2.027E+07	2.204E+08	2.817E+07	8.075E+06	8.349e-02	4.646e+03	8.916e+02
168	2.183E+07	2.294E+08	2.910E+07	8.098E+06	8.359e-02	4.837e+03	9.533e+02
169	2.464E+07	2.529E+08	3.200E+07	8.857E+06	8.337e-02	5.332e+03	1.070e+03
170	2.100E+07	2.233E+08	2.423E+07	8.635E+06	6.384e-02	4.707e+03	9.215e+02
171	2.380E+07	2.468E+08	2.669E+07	9.478E+06	6.362e-02	5.203e+03	1.038e+03
172	2.537E+07	2.558E+08	2.740E+07	9.477E+06	6.374e-02	5.394e+03	1.100e+03
173	1.944E+07	2.019E+08	2.674E+07	7.076E+06	8.885e-02	4.256e+03	8.566e+02
174	2.100E+07	2.109E+08	2.774E+07	7.108E+06	8.894e-02	4.447e+03	9.184e+02
175	2.381E+07	2.345E+08	3.074E+07	7.831E+06	8.872e-02	4.943e+03	1.035e+03

176	2.017E+07	2.048E+08	2.316E+07	7.596E+06	6.919e-02	4.318e+03	8.865e+02
177	2.297E+07	2.283E+08	2.573E+07	8.403E+06	6.896e-02	4.813e+03	1.003e+03
178	2.454E+07	2.374E+08	2.650E+07	8.411E+06	6.907e-02	5.004e+03	1.065e+03
179	2.041E+07	2.066E+08	2.632E+07	7.663E+06	8.219e-02	4.355e+03	8.963e+02
180	2.321E+07	2.301E+08	2.923E+07	8.469E+06	8.196e-02	4.850e+03	1.013e+03
181	2.478E+07	2.391E+08	3.013E+07	8.475E+06	8.206e-02	5.041e+03	1.075e+03
182	2.395E+07	2.330E+08	2.506E+07	9.052E+06	6.231e-02	4.912e+03	1.043e+03
183	7.255E+06	1.248E+08	1.557E+07	4.455E+06	8.416e-02	2.631e+03	3.705e+02
184	8.819E+06	1.338E+08	1.663E+07	4.619E+06	8.419e-02	2.821e+03	4.323e+02
185	1.162E+07	1.573E+08	1.958E+07	5.410E+06	8.386e-02	3.317e+03	5.488e+02
186	7.987E+06	1.277E+08	1.355E+07	4.822E+06	6.435e-02	2.692e+03	4.004e+02
187	1.079E+07	1.512E+08	1.607E+07	5.696E+06	6.404e-02	3.188e+03	5.169e+02
188	1.235E+07	1.602E+08	1.690E+07	5.836E+06	6.412e-02	3.378e+03	5.787e+02
189	8.228E+06	1.295E+08	1.555E+07	4.892E+06	7.742e-02	2.729e+03	4.102e+02
190	1.103E+07	1.530E+08	1.841E+07	5.766E+06	7.710e-02	3.225e+03	5.268e+02
191	1.259E+07	1.620E+08	1.938E+07	5.903E+06	7.716e-02	3.415e+03	5.886e+02
192	1.176E+07	1.559E+08	1.581E+07	6.194E+06	5.734e-02	3.286e+03	5.567e+02
193	7.398E+06	1.110E+08	1.384E+07	4.023E+06	8.293e-02	2.339e+03	3.753e+02
194	1.020E+07	1.345E+08	1.680E+07	4.861E+06	8.255e-02	2.835e+03	4.918e+02
195	1.176E+07	1.435E+08	1.783E+07	5.006E+06	8.259e-02	3.026e+03	5.536e+02

196	1.093E+07	1.374E+08	1.456E+07	5.249E+06	6.276e-02	2.896e+03	5.217e+02
197	1.117E+07	1.391E+08	1.672E+07	5.319E+06	7.583e-02	2.933e+03	5.316e+02
198	2.047E+07	2.218E+08	9.848E+06	1.154E+06	3.588e-02	4.677e+03	9.082e+02
199	2.203E+07	2.309E+08	9.978E+06	8.730E+05	3.600e-02	4.867e+03	9.700e+02
200	2.484E+07	2.544E+08	1.087E+07	8.783E+05	3.580e-02	5.363e+03	1.087e+03
201	2.120E+07	2.248E+08	5.601E+06	1.614E+06	1.621e-02	4.738e+03	9.381e+02
202	2.400E+07	2.483E+08	6.062E+06	1.702E+06	1.601e-02	5.234e+03	1.055e+03
203	2.557E+07	2.573E+08	5.966E+06	1.398E+06	1.615e-02	5.424e+03	1.116e+03
204	2.144E+07	2.265E+08	8.871E+06	1.626E+06	2.922e-02	4.775e+03	9.480e+02
205	2.424E+07	2.500E+08	9.673E+06	1.714E+06	2.902e-02	5.271e+03	1.065e+03
206	2.581E+07	2.591E+08	9.710E+06	1.407E+06	2.915e-02	5.461e+03	1.126e+03
207	2.498E+07	2.529E+08	4.839E+06	2.236E+06	9.365e-03	5.332e+03	1.094e+03
208	2.061E+07	2.080E+08	9.036E+06	1.135E+06	3.456e-02	4.385e+03	9.130e+02
209	2.341E+07	2.315E+08	9.944E+06	1.187E+06	3.435e-02	4.881e+03	1.030e+03
210	2.498E+07	2.406E+08	1.004E+07	8.880E+05	3.448e-02	5.071e+03	1.091e+03
211	2.415E+07	2.344E+08	5.467E+06	1.668E+06	1.469e-02	4.942e+03	1.059e+03
212	2.439E+07	2.362E+08	8.898E+06	1.681E+06	2.770e-02	4.979e+03	1.069e+03
213	8.428E+06	1.309E+08	5.023E+06	9.129E+05	2.950e-02	2.760e+03	4.269e+02
214	1.123E+07	1.544E+08	5.878E+06	1.032E+06	2.925e-02	3.255e+03	5.434e+02
215	1.279E+07	1.635E+08	6.041E+06	8.654E+05	2.936e-02	3.446e+03	6.052e+02

216	1.196E+07	1.573E+08	2.966E+06	1.361E+06	9.482e-03	3.316e+03	5.733e+02
217	1.220E+07	1.591E+08	5.239E+06	1.376E+06	2.256e-02	3.353e+03	5.832e+02
218	1.137E+07	1.406E+08	5.224E+06	9.783E+05	2.794e-02	2.964e+03	5.482e+02
219	2.167E+07	2.425E+08	3.279E+07	8.870E+06	9.058e-02	5.112e+03	9.644e+02
220	2.323E+07	2.515E+08	3.377E+07	8.862E+06	9.068e-02	5.302e+03	1.026e+03
221	2.603E+07	2.750E+08	3.684E+07	9.615E+06	9.045e-02	5.798e+03	1.143e+03
222	2.240E+07	2.454E+08	2.846E+07	9.473E+06	7.090e-02	5.173e+03	9.943e+02
223	2.520E+07	2.689E+08	3.109E+07	1.031E+07	7.068e-02	5.668e+03	1.111e+03
224	2.676E+07	2.779E+08	3.185E+07	1.028E+07	7.079e-02	5.859e+03	1.173e+03
225	2.264E+07	2.471E+08	3.218E+07	9.543E+06	8.391e-02	5.210e+03	1.004e+03
226	2.544E+07	2.706E+08	3.515E+07	1.038E+07	8.368e-02	5.705e+03	1.121e+03
227	2.700E+07	2.797E+08	3.604E+07	1.034E+07	8.379e-02	5.896e+03	1.183e+03
228	2.617E+07	2.735E+08	3.023E+07	1.104E+07	6.402e-02	5.767e+03	1.151e+03
229	2.181E+07	2.286E+08	3.082E+07	8.463E+06	8.927e-02	4.820e+03	9.692e+02
230	2.461E+07	2.522E+08	3.390E+07	9.262E+06	8.904e-02	5.316e+03	1.086e+03
231	2.617E+07	2.612E+08	3.485E+07	9.237E+06	8.914e-02	5.506e+03	1.148e+03
232	2.534E+07	2.551E+08	2.934E+07	9.887E+06	6.937e-02	5.377e+03	1.116e+03
233	2.558E+07	2.568E+08	3.322E+07	9.957E+06	8.237e-02	5.414e+03	1.126e+03
234	9.623E+06	1.515E+08	1.935E+07	5.728E+06	8.451e-02	3.195e+03	4.831e+02
235	1.242E+07	1.750E+08	2.238E+07	6.595E+06	8.419e-02	3.690e+03	5.997e+02

236	1.399E+07	1.841E+08	2.339E+07	6.701E+06	8.425e-02	3.881e+03	6.614e+02
237	1.316E+07	1.779E+08	1.938E+07	7.067E+06	6.442e-02	3.751e+03	6.295e+02
238	1.340E+07	1.797E+08	2.210E+07	7.139E+06	7.748e-02	3.788e+03	6.394e+02
239	1.257E+07	1.612E+08	2.056E+07	6.153E+06	8.292e-02	3.399e+03	6.044e+02
240	2.284E+07	2.486E+08	1.162E+07	1.782E+06	3.626e-02	5.240e+03	1.021e+03
241	2.564E+07	2.721E+08	1.260E+07	1.863E+06	3.605e-02	5.736e+03	1.137e+03
242	2.720E+07	2.811E+08	1.268E+07	1.525E+06	3.618e-02	5.927e+03	1.199e+03
243	2.637E+07	2.750E+08	7.364E+06	2.427E+06	1.638e-02	5.797e+03	1.167e+03
244	2.661E+07	2.767E+08	1.136E+07	2.443E+06	2.939e-02	5.834e+03	1.177e+03
245	2.578E+07	2.583E+08	1.170E+07	1.834E+06	3.473e-02	5.445e+03	1.142e+03
246	1.360E+07	1.812E+08	7.333E+06	1.566E+06	2.961e-02	3.819e+03	6.560e+02
247	2.403E+07	2.692E+08	3.706E+07	1.038E+07	9.099e-02	5.675e+03	1.077e+03
248	2.683E+07	2.927E+08	4.021E+07	1.121E+07	9.075e-02	6.171e+03	1.194e+03
249	2.840E+07	3.018E+08	4.114E+07	1.114E+07	9.086e-02	6.361e+03	1.255e+03
250	2.757E+07	2.956E+08	3.489E+07	1.192E+07	7.108e-02	6.232e+03	1.223e+03
251	2.781E+07	2.974E+08	3.933E+07	1.199E+07	8.409e-02	6.269e+03	1.233e+03
252	2.698E+07	2.789E+08	3.815E+07	1.079E+07	8.945e-02	5.879e+03	1.198e+03
253	1.479E+07	2.018E+08	2.632E+07	8.012E+06	8.456e-02	4.254e+03	7.123e+02
254	2.801E+07	2.988E+08	1.454E+07	2.634E+06	3.643e-02	6.300e+03	1.250e+03
255	2.920E+07	3.195E+08	4.465E+07	1.286E+07	9.116e-02	6.734e+03	1.306e+03

Fonte: A autora

APÊNDICE G – DIMENSÕES E ÍNDICES DO *FRAMEWORK* SMPF NA SIMULAÇÃO II

Tabela 117 – Dimensões e índices do *framework* SMPF na simulação II

Grupo	ODC	ReDC	RDC_BM	RDC_AM	MII	BI	TI
01	4.894E+06	2.352E+08	8.171E+06	3.858E+06	1.797E-02	4.957E+03	2.221E+02
02	8.313E+06	3.080E+08	1.309E+08	1.338E+07	3.715E-01	6.494E+03	3.618E+02
03	2.116E+06	1.760E+08	2.568E+05	3.093E+05	2.953E-04	3.709E+03	1.087E+02
04	1.517E+06	5.289E+07	4.955E+05	5.007E+05	9.682E-05	1.115E+03	7.151E+01
05	4.438E+06	1.008E+08	2.735E+05	2.745E+05	9.831E-06	2.126E+03	1.940E+02
06	1.321E+07	5.432E+08	2.492E+08	3.248E+07	3.895e-01	1.145e+04	5.840e+02
07	7.009E+06	4.111E+08	1.484E+07	7.448E+06	1.768e-02	8.667e+03	3.308e+02
08	6.411E+06	2.881E+08	1.270E+07	7.439E+06	1.788e-02	6.073e+03	2.937e+02
09	9.332E+06	3.360E+08	1.265E+07	6.451E+06	1.796e-02	7.083e+03	4.161e+02
10	1.043E+07	4.840E+08	2.054E+08	2.179E+07	3.713e-01	1.020e+04	4.705e+02
11	9.831E+06	3.609E+08	1.568E+08	1.910E+07	3.715e-01	7.609e+03	4.334e+02
12	1.275E+07	4.089E+08	1.756E+08	1.894E+07	3.716e-01	8.620e+03	5.558e+02
13	3.633E+06	2.288E+08	2.450E+06	2.541E+06	3.921e-04	4.824e+03	1.802e+02
14	6.554E+06	2.768E+08	1.145E+06	1.231E+06	3.051e-04	5.835e+03	3.027e+02
15	5.955E+06	1.537E+08	1.868E+06	1.885E+06	1.066e-04	3.241e+03	2.655e+02

16	1.532E+07	7.191E+08	3.301E+08	4.417E+07	3.893e-01	1.516e+04	6.926e+02
17	1.472E+07	5.961E+08	2.792E+08	4.128E+07	3.895e-01	1.257e+04	6.555e+02
18	1.765E+07	6.440E+08	2.981E+08	4.036E+07	3.896e-01	1.358e+04	7.780e+02
19	8.527E+06	4.640E+08	2.107E+07	1.276E+07	1.759e-02	9.782e+03	4.023e+02
20	1.145E+07	5.120E+08	1.994E+07	1.069E+07	1.767e-02	1.079e+04	5.248e+02
21	1.085E+07	3.889E+08	1.829E+07	1.114E+07	1.787e-02	8.199e+03	4.877e+02
22	1.195E+07	5.369E+08	2.330E+08	2.923E+07	3.713e-01	1.132e+04	5.420e+02
23	1.487E+07	5.848E+08	2.507E+08	2.799E+07	3.714e-01	1.233e+04	6.645e+02
24	1.427E+07	4.618E+08	2.026E+08	2.576E+07	3.716e-01	9.735e+03	6.274e+02
25	8.071E+06	3.297E+08	4.437E+06	4.573E+06	4.019e-04	6.950e+03	3.742e+02
26	1.684E+07	7.720E+08	3.618E+08	5.469E+07	3.893e-01	1.628e+04	7.642e+02
27	1.976E+07	8.200E+08	3.797E+08	5.269E+07	3.894e-01	1.729e+04	8.866e+02
28	1.916E+07	6.969E+08	3.292E+08	5.026E+07	3.895e-01	1.469e+04	8.495e+02
29	1.296E+07	5.649E+08	2.727E+07	1.711E+07	1.758e-02	1.191e+04	5.963e+02
30	1.638E+07	6.377E+08	2.794E+08	3.655E+07	3.714e-01	1.344e+04	7.360e+02
31	2.128E+07	8.729E+08	4.124E+08	6.433E+07	3.893e-01	1.840e+04	9.582e+02

Fonte: A autora

APÊNDICE H – MENSAGEM DE SOLICITAÇÃO PARA PARTICIPAÇÃO DO *SURVEY*(VERSÃO EM PORTUGUÊS)

Prezado (a),

Meu nome é Cinthya Cavalcanti Flório, aluna do Centro de Informática da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) no Brasil. Estou desenvolvendo uma pesquisa de doutorado intitulada "SMIPP: Um processo iterativo e incremental que aplica tecnologias de inteligência artificial no planejamento e execução da priorização de grupos de atividades de manutenção de sistemas multiativos homogêneos", orientada pelo Prof. Dr.Silvio Romero de Lemos Meira do Centro de Informática (CIn-UFPE) e coorientada pela Profa. Dra. Fernanda Maria Ribeiro de Alencar do Centro de Tecnologia e Geociências (CTG-UFPE).

Gostaria de solicitar a sua ajuda na participação de um *survey*. O tempo estimado para é cerca de 45 minutos a 1 hora. Sua colaboração é extremamente importante para a conclusão do estudo em andamento.

O *survey* em português pode ser acessado através do link:

<<https://questionpro.com/t/AYlayZ1AjX>>

E, a versão em inglês pode ser acessada através do link:

<<https://questionpro.com/t/AYlayZ07SX>>

Muito obrigada pela sua disponibilidade.

Qualquer dúvida fique à vontade para entrar em contato através do email (ccf@cin.ufpe.br).

Atenciosamente,

Cinthya Cavalcanti

APÊNDICE I – MENSAGEM DE SOLICITAÇÃO PARA PARTICIPAÇÃO DO *SURVEY*(VERSÃO EM INGLÊS)

Dear,

My name is Cinthya Cavalcanti Flório, a student at the Informatics Center at the Federal University of Pernambuco (UFPE) in Brazil. I am developing a doctoral research entitled "SMIPP: An iterative and incremental process that applies artificial intelligence technologies in the planning and execution of prioritization of groups of maintenance activities of homogeneous multi-active systems", guided by Prof. Dr.Silvio Romero de Lemos Meira from the Informatics Center (CIn-UFPE) and co-supervised by Profa. Dr. Fernanda Maria Ribeiro de Alencar from the Technology and Geosciences Center (CTG-UFPE).

I would like to ask for your help in participating in a *Survey*. Estimated time is around 45 minutes to 1 hour. Your collaboration is extremely important for the completion of the ongoing study.

The *Survey* in Portuguese can be accessed through the link:

<<https://questionpro.com/t/AYlayZ1AjX>>

And, the English version can be accessed through the link:

<<https://questionpro.com/t/AYlayZ07SX>>

Thank you very much for your availability.

If you have any questions, feel free to get in touch via email (ccf@cin.ufpe.br).

Yours sincerely,

Cinthya Cavalcanti

APÊNDICE J – PERGUNTAS DO *SURVEY* (VERSÃO EM PORTUGUÊS)

1. Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

Obrigado por sua disponibilidade!

Sua participação irá compor a pesquisa de doutorado de Cinthya Cavalcanti Flório, aluna do Centro de Informática da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), intitulada "SMIPP: Um processo iterativo e incremental que aplica tecnologias de inteligência artificial no planejamento e execução da priorização de grupos de atividades de manutenção de sistemas multiativos homogêneos", orientada pelo Prof. Dr. Silvio Romero de Lemos Meira do Centro de Informática (CIn-UFPE) e coorientada pela Profa. Dra. Fernanda Maria Ribeiro de Alencar do Centro de Tecnologia e Geociências (CTG-UFPE).

Esta pesquisa tem como objetivo principal ajudar na identificação dos agrupamentos de atividades de manutenção, de sistemas multiativos homogêneos, que amplificam o retorno do investimento em paradas de manutenção com restrições de tempo e orçamento, através do desenvolvimento de um processo iterativo e incremental que aplica tecnologias de inteligência artificial no planejamento e execução da priorização de grupos de atividades de manutenção. Além disso, esta pesquisa também propõe uma ferramenta de apoio para auxiliar na utilização e avaliação deste processo.

Por gentileza, leia este termo e as perguntas com atenção e fique à vontade para perguntar aos pesquisadores sobre as dúvidas que possam surgir a qualquer momento (ccf@cin.ufpe.br). Você tem total liberdade para desistir de participar, a qualquer momento, sem nenhum prejuízo. Além disso, você também concorda que não há gratificação ou remuneração associada à sua participação. O tempo de duração é cerca de 45 minutos a 1 hora. Os dados coletos serão armazenadas de forma segura, e apenas os pesquisadores acima mencionados terão acesso, não sendo compartilhados com nenhuma outra parte. Estes dados serão utilizados como parte da avaliação do processo SMIPP e em publicações acadêmicas relacionadas à pesquisa, com total garantia de privacidade e confidencialidade (todos os dados serão anônimos). Os dados serão destruídos cinco anos após o fim do projeto. Fique à vontade para entrar em contato com os pesquisadores para saber sobre os resultados obtidos.

Ao selecionar "Declaro que li e concordo com os termos acima", você concorda em participar de forma voluntária, ou seja, de livre e espontânea vontade, de uma pesquisa de opinião na qual você irá assistir a um vídeo, desenvolvido pela aluna Cinthya Cavalcanti Flório, que explica todo o fluxo de tarefas do processo SMIPP e, no final usa a ferramenta de apoio exemplificando a aplicação prática do processo.

Posteriormente você irá fornecer um feedback por meio do preenchimento de um questionário.

Termo de Confidencialidade

Pedimos sua colaboração para não compartilhar, enviar, divulgar ou reproduzir para terceiros o conteúdo que será exibido e/ou utilizado durante este estudo por nenhum meio eletrônico, digital, impresso ou manuscrito.

- Declaro que li e CONCORDO com os termos acima.

2. Qual o seu nível acadêmico?

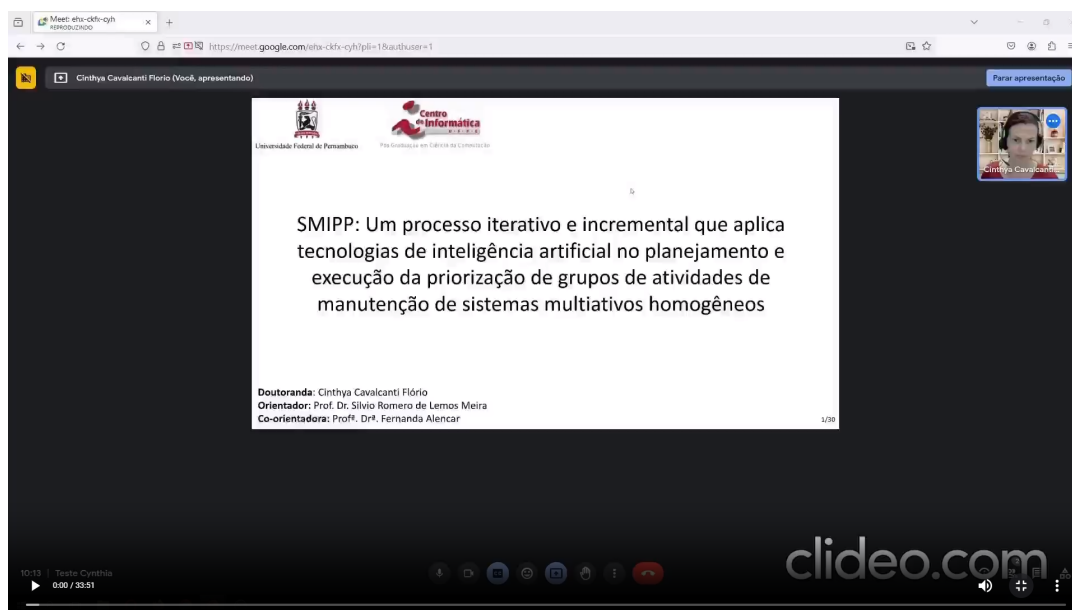
- Graduação
- Especialização
- Mestrado
- Doutorado
- Outro

3. Qual o tipo de experiência que você tem com gestão de manutenção?

- Profissional
- Acadêmica
- Ambas

4. Há quanto tempo você atua na área de gestão de manutenção?

- até 2 anos
- até 5 anos
- até 10 anos
- mais de 10 anos

Figura 99 – Vídeo do *survey*

Fonte: A autora

Agora você deverá assistir a um vídeo, desenvolvido pela aluna Cinthya Cavalcanti Flório, que explica todo o fluxo do processo SMIPP que consiste em um processo iterativo e incremental que aplica tecnologias de inteligência artificial no planejamento e execução da priorização de grupos de atividades de manutenção de sistemas multiativos homogêneos. No final, a ferramenta de apoio é utilizada a fim de exemplificar a aplicação prática do processo.

Caso você tenha alguma dúvida fique à vontade para entrar em contato através do email: ccf@cin.ufpe.br.

Após o vídeo você deverá continuar preenchendo ao questionário para fornecer o seu feedback sobre o processo. É muito importante que você só continue preenchendo o questionário se não tiver nenhuma dúvida.

5. Eu acho que eu teria dificuldade em customizar este processo para o contexto da minha organização.
 - Discordo totalmente
 - Discordo parcialmente
 - Não concordo nem discordo
 - Concordo parcialmente
 - Concordo totalmente

6. Se a resposta da pergunta anterior for Concordo totalmente, Concordo parcialmente ou Não concordo nem discordo então, por favor descreva porque você teria dificuldade em customizar este processo para o contexto da sua organização.
7. Eu acho que o processo torna-se flexível pelo fato dele ser interativo e incremental.
 - Discordo totalmente
 - Discordo parcialmente
 - Não concordo nem discordo
 - Concordo parcialmente
 - Concordo totalmente
8. Eu acho que o processo atrapalha as minhas tarefas diárias do trabalho.
 - Discordo totalmente
 - Discordo parcialmente
 - Não concordo nem discordo
 - Concordo parcialmente
 - Concordo totalmente
9. Se a resposta da pergunta anterior for Concordo totalmente, Concordo parcialmente ou Não concordo nem discordo então, por favor descreva porque você acha que o processo atrapalha as suas tarefas diárias do trabalho.
10. Eu acho que o processo prejudica o desenvolvimento das competências pessoais do gestor de ativos.
 - Discordo totalmente
 - Discordo parcialmente
 - Não concordo nem discordo
 - Concordo parcialmente
 - Concordo totalmente
11. Se a resposta da pergunta anterior for Concordo totalmente, Concordo parcialmente ou Não concordo nem discordo então, por favor descreva porque você acha que o processo prejudica o desenvolvimento das competências pessoais do gestor de ativos.
12. Eu acho que o processo ajuda na integração dos diferentes departamentos da minha empresa (ex: financeiro, TI, engenharia).

- Discordo totalmente
- Discordo parcialmente
- Não concordo nem discordo
- Concordo parcialmente
- Concordo totalmente

13. Eu utilizaria o processo na minha empresa.

- Discordo totalmente
- Discordo parcialmente
- Não concordo nem discordo
- Concordo parcialmente
- Concordo totalmente

14. Eu acho que o processo engaja o gestor de ativos com os outros tomadores de decisão da empresa.

- Discordo totalmente
- Discordo parcialmente
- Não concordo nem discordo
- Concordo parcialmente
- Concordo totalmente

15. Eu acho que a aplicação das tecnologias de inteligência artificial, no planejamento e execução da priorização de grupos de atividades de manutenção de sistemas multia-
tivos homogêneos, ajuda a identificar agrupamentos capazes de maximizar o retorno
do investimento em paradas de manutenção com restrições de tempo e orçamento.

- Discordo totalmente
- Discordo parcialmente
- Não concordo nem discordo
- Concordo parcialmente
- Concordo totalmente

16. Eu acho que o processo é complexo.

- Discordo totalmente
- Discordo parcialmente

- Não concordo nem discordo
 - Concordo parcialmente
 - Concordo totalmente
17. Se a resposta da pergunta anterior for Concordo totalmente, Concordo parcialmente ou Não concordo nem discordo então, por favor descreva porque você acha que o processo é complexo.
18. Eu acho que o processo forneceu resultados fáceis de entender.
- Discordo totalmente
 - Discordo parcialmente
 - Não concordo nem discordo
 - Concordo parcialmente
 - Concordo totalmente
19. Eu acho que a ordem das etapas do processo está correta.
- Discordo totalmente
 - Discordo parcialmente
 - Não concordo nem discordo
 - Concordo parcialmente
 - Concordo totalmente
20. Eu tive dificuldade em compreender os artefatos de entrada e saída do processo.
- Discordo totalmente
 - Discordo parcialmente
 - Não concordo nem discordo
 - Concordo parcialmente
 - Concordo totalmente
21. Se a resposta da pergunta anterior for Concordo totalmente, Concordo parcialmente ou Não concordo nem discordo então, por favor descreva porque você teve dificuldade em compreender os artefatos de entrada e saída do processo.
22. Eu acho que processo SMIPP ajuda na identificação dos agrupamentos de atividades de manutenção, de sistemas multiativos homogêneos, que amplificam o retorno do investimento em paradas de manutenção com restrições de tempo e orçamento.

- Discordo totalmente
- Discordo parcialmente
- Não concordo nem discordo
- Concordo parcialmente
- Concordo totalmente

23. Eu acho que a quantidade de etapas do processo poderia ser reduzida.

- Discordo totalmente
- Discordo parcialmente
- Não concordo nem discordo
- Concordo parcialmente
- Concordo totalmente

24. Se a resposta da pergunta anterior for Concordo totalmente, Concordo parcialmente ou Não concordo nem discordo então, por favor descreva porque você acha que a quantidade de etapas do processo poderia ser reduzida.

25. Eu acho que a quantidade de etapas manuais do processo é exagerada.

- Discordo totalmente
- Discordo parcialmente
- Não concordo nem discordo
- Concordo parcialmente
- Concordo totalmente

26. Se a resposta da pergunta anterior for Concordo totalmente, Concordo parcialmente ou Não concordo nem discordo então, por favor descreva porque você acha que a quantidade de etapas manuais do processo é exagerada.

27. Eu acho que as etapas automáticas tornam o processo mais simples.

- Discordo totalmente
- Discordo parcialmente
- Não concordo nem discordo
- Concordo parcialmente
- Concordo totalmente

28. Eu acho que algumas etapas obrigatórias poderiam ser opcionais.

- Discordo totalmente
 - Discordo parcialmente
 - Não concordo nem discordo
 - Concordo parcialmente
 - Concordo totalmente
29. Se a resposta da pergunta anterior for Concordo totalmente, Concordo parcialmente ou Não concordo nem discordo então, por favor descreva quais etapas obrigatórias poderiam ser opcionais.
30. Fique à vontade para fornecer sua opinião, crítica ou sugestão de melhoria a respeito do processo SMIPP.

APÊNDICE K – LISTA DOS GRUPOS DE ATIVIDADES DE MANUTENÇÃO

Tabela 118 – Lista dos Grupos de Atividades de Manutenção da Simulação I

Grupo	Atividade de manutenção
Grupo 01	Eliminar vazamento na linha de vapor
	Eliminar vazamento de vapor na caldeira
	Substituir calha da rosca transportadora de cavaco
	Regular pressão na linha de vapor
	Trocar conexões na linha de vapor
	Redirecionar carga da linha de vapor
	Inspecionar linha de vapor
	Verificar defeito no controlador de nível de água da caldeira
	Trocar união do visor de nível
	Verificar junta do visor de nível da caldeira
	Eliminar vazamento no pressostato da caldeira
	Trocar pressostato da caldeira
	Limpar as oxidações nos contatos do pressostato
	Substituição do diafragma do pressostato
	Substituição da braçadeira do pressostato
	Trocar válvula de descarga 01 da caldeira bremer
	Verificar válvula de descarga 01
	Trocar válvula de descarga 02 da caldeira bremer
	Verificar válvula de descarga 02
	Trocar válvula de descarga 03
	Trocar junta e válvula de descarga 03
	Eliminar vazamento de vapor na válvula de descarga 03
	Trocar retentor da válvula de descarga 03
	Trocar parafuso regulador da válvula de descarga 03
	Trocar anel de vedação da válvula de descarga 03
	Trocar sensor da válvula de descarga 03

	Trocar obturador da válvula de descarga 03
	Trocar tampa da válvula de descarga 03
	Trocar junta da tampa da válvula de descarga 03
	Trocar trava do obturador da válvula de descarga 03
	Trocar diafragma do piloto da válvula de descarga 03
	Verificar válvula de descarga 03
	Verificar válvula de descarga 05
	Trocar retentor da válvula de descarga 05
	Trocar anel de vedação da válvula de descarga 05
	Trocar obturador da válvula de descarga 05
	Trocar tampa da válvula de descarga 05
	Trocar junta da tampa da válvula de descarga 05
	Trocar trava do obturador da válvula de descarga 05
	Trocar junta da válvula principal
	Trocar válvula principal da caldeira
	Trocar junta da entrada de água da caldeira
	Trocar anel de vedação da válvula principal da caldeira
	Verificar válvula principal da caldeira
Grupo 02	Substituição do parafuso de pressão de parada do pressostato
	Substituição do retentor da mola do pressostato
	Substituição do parafuso de aterramento do pressostato
	Trocar alavanca da válvula de descarga 01
	Trocar tubo conector da válvula de descarga 01
	Trocar retentor da válvula de descarga 01
	Trocar parafuso regulador da válvula de descarga 01
	Trocar anel de vedação da válvula de descarga 01
	Trocar sensor da válvula de descarga 01
	Trocar obturador da válvula de descarga 01
	Trocar tampa da válvula de descarga 01
	Trocar trava do obturador da válvula de descarga 01
	Trocar alavanca da válvula de descarga 02
	Trocar parafuso regulador da válvula de descarga 02

	Trocar obturador da válvula de descarga 02
	Trocar trava do obturador da válvula de descarga 02
	Trocar diafragma do piloto da válvula de descarga 02
	Trocar válvula de descarga 05
	Trocar sensor da válvula principal da caldeira
	Trocar obturador da válvula principal da caldeira
	Trocar trava do obturador da válvula principal da caldeira
	Trocar diafragma do piloto da válvula principal da caldeira
Grupo 03	Substituição da mola de tensão do pressostato
	Substituição da mola de compressão do pressostato
	Substituição do braço articulado do pressostato
	Trocar junta da tampa da válvula de descarga 01
	Trocar diafragma do piloto da válvula de descarga 01
	Trocar mola da válvula de descarga 02
	Trocar suporte da mola da válvula de descarga 02
	Trocar retentor da válvula de descarga 02
	Trocar anel de vedação da válvula de descarga 02
	Trocar alavanca da válvula principal da caldeira
	Trocar tubo conector da válvula principal da caldeira
	Substituição do anel de deslizamento do pressostato
	Trocar mola da válvula de descarga 01
	Trocar suporte da mola da válvula de descarga 01
	Trocar sensor da válvula de descarga 02
	Substituição do eixo do pressostato
	Trocar tubo conector da válvula de descarga 02
	Trocar alavanca da válvula de descarga 05
	Trocar tampa da válvula principal da caldeira
	Trocar junta do visor de nível da caldeira
	Trocar visor de nível da caldeira
	Eliminar vazamento do sifão do presostato da caldeira

Substituição da almofada de pressão do pressostato
Substituição da sapata de pressão do pressostato
Trocar tampa da válvula de descarga 02
Trocar junta da tampa da válvula de descarga 02
Trocar mola da válvula de descarga 03
Trocar suporte da mola da válvula de descarga 03
Trocar alavanca da válvula de descarga 03
Trocar tubo conector da válvula de descarga 03
Trocar mola da válvula de descarga 05
Trocar suporte da mola da válvula de descarga 05
Trocar tubo conector da válvula de descarga 05
Trocar parafuso regulador da válvula de descarga 05
Trocar sensor da válvula de descarga 05
Trocar diafragma do piloto da válvula de descarga 05
Trocar mola da válvula principal da caldeira
Trocar suporte da mola da válvula principal da caldeira
Trocar retentor da válvula principal da caldeira
Trocar parafuso regulador da válvula principal da caldeira
Trocar junta da tampa da válvula principal da caldeira

Fonte: A autora

Tabela 119 – Lista dos Grupos de Atividades de Manutenção da Simulação II

Grupo	Atividade de manutenção
	Remover redutor para revisão da correia transportadora 01
	Usinar polia da correia transportadora 01
	Ajustar tambor de esticamento da correia transportadora 01
	Trocar rolete de impacto da correia transportadora 01
	Realizar reparo do rolete de impacto da correia transportadora 01
	Trocar rolete de retorno da correia transportadora 01

Grupo 01

Realizar reparo do rolete de retorno da correia transportadora 01

Trocar rolete de autoalinhamento de retorno da correia transportadora 01

Realizar reparo do rolete de autoalinhamento de retorno da correia transportadora 01

Trocar rolete de autoalinhamento de carga da correia transportadora 01

Realizar reparo do rolete de autoalinhamento de carga da correia transportadora 01

Trocar rolete de transição da correia transportadora 01

Realizar reparo do rolete de transição da correia transportadora 01

Verificar conjunto de acionamento da da correia transportadora 01

Realizar reparo do de conjunto de acionamento da correia transportadora 01

Substituição de conjunto de acionamento da correia transportadora 01

Ajustar tambor de retorno da correia transportadora 01

Limpar o chute de descarga da correia transportadora 01

Limpar as guias laterias da correia transportadora 01

Realizar reparo do limpador da correia transportadora 01

Trocar correia transportadora 01

Remover redutor para revisão da correia transportadora 02

Usinar polia da correia transportadora 02

Ajustar tambor de esticamento da correia transportadora 02

Trocar rolete de impacto da correia transportadora 02

Realizar reparo do rolete de impacto da correia transportadora 02

Trocar rolete de retorno da correia transportadora 02

Realizar reparo do rolete de retorno da correia transportadora 02

Trocar rolete de autoalinhamento de retorno da correia transportadora 02

Realizar reparo do rolete de autoalinhamento de retorno da correia transportadora 02

Trocar rolete de autoalinhamento de carga da correia transportadora 02

Realizar reparo do rolete de autoalinhamento de carga da correia transportadora 02

Trocar rolete de transição da correia transportadora 02

Realizar reparo do rolete de transição da correia transportadora 02

Verificar conjunto de acionamento da da correia transportadora 02

Realizar reparo do de conjunto de acionamento da correia transportadora 02

Substituição de conjunto de acionamento da correia transportadora 02

Ajustar tambor de retorno da correia transportadora 02

Limpar o chute de descarga da correia transportadora 02

Limpar as guias laterias da correia transportadora 02

Realizar reparo do limpador da correia transportadora 02

Trocar correia transportadora 02

Remover redutor para revisão da correia transportadora 03

Usinar polia da correia transportadora 03

Ajustar tambor de esticamento da correia transportadora 03

Trocar rolete de impacto da correia transportadora 03

Realizar reparo do rolete de impacto da correia transportadora 03

Trocar rolete de retorno da correia transportadora 03

Realizar reparo do rolete de retorno da correia transportadora 03

Trocar rolete de autoalinhamento de retorno da correia transportadora 03

Realizar reparo do rolete de autoalinhamento de retorno da correia transportadora 03

Trocar rolete de autoalinhamento de carga da correia transportadora 03

Realizar reparo do rolete de autoalinhamento de carga da correia transportadora 03

Trocar rolete de transição da correia transportadora 03

Realizar reparo do rolete de transição da correia transportadora 03

Verificar conjunto de acionamento da correia transportadora 03

Realizar reparo do conjunto de acionamento da correia transportadora 03

Substituição de conjunto de acionamento da correia transportadora 03

Ajustar tambor de retorno da correia transportadora 03

Limpar o chute de descarga da correia transportadora 03

Limpar as guias laterais da correia transportadora 03

Realizar reparo do limpador da correia transportadora 03

Trocar correia transportadora 03

Trocar calha de saída da moega para correia

Verificar rosca dosadora da moega

Substituir calha da rosca transportadora de cavaco

Substituir contactor da moega md/35

Realizar reparo da chapa de aço da moega

Pintura anti-ferrugem da moega

Realizar reparo do suporte da moega

Trocar suporte da moega

Trocar moega

Trocar conexões da peneira de discos

Substituir rolamento

Substituir disco

Realizar reparo no disco

Substituir eixo

Retificar eixo

Substituir motor

Retificar motor

Substituir rolamento do motor

Realizar reparo na alimentação de força do motor

Realizar manutenção no controle do motor

Trocar peneira de discos

Fonte: A autora

Tabela 120 – Lista dos Grupos de Atividades de Manutenção da Simulação III

Grupo	Atividade de manutenção
Grupo 01	Eliminar vazamento na linha de vapor
	Eliminar vazamento de vapor na caldeira
	Substituir calha da rosca transportadora de cavaco
	Regular pressão na linha de vapor
	Trocar conexões na linha de vapor
	Redirecionar carga da linha de vapor
	Inspecionar linha de vapor
	Verificar defeito no controlador de nível de água da caldeira
	Trocar união do visor de nível
	Verificar junta do visor de nível da caldeira
	Eliminar vazamento no pressostato da caldeira
	Trocar pressostato da caldeira
	Limpar as oxidações nos contatos do pressostato

Substituição do diafragma do pressostato

Substituição da braçadeira do pressostato

Trocar válvula de descarga 01 da caldeira bremer

Verificar válvula de descarga 01

Trocar válvula de descarga 02 da caldeira bremer

Verificar válvula de descarga 02

Trocar válvula de descarga 03

Trocar junta e válvula de descarga 03

Eliminar vazamento de vapor na válvula de descarga 03

Trocar retentor da válvula de descarga 03

Trocar parafuso regulador da válvula de descarga 03

Trocar anel de vedação da válvula de descarga 03

Trocar sensor da válvula de descarga 03

Trocar obturador da válvula de descarga 03

Trocar tampa da válvula de descarga 03

Trocar junta da tampa da válvula de descarga 03

Trocar trava do obturador da válvula de descarga 03

Trocar diafragma do piloto da válvula de descarga 03

Verificar válvula de descarga 03

Verificar válvula de descarga 05

Trocar retentor da válvula de descarga 05

Trocar anel de vedação da válvula de descarga 05

Trocar obturador da válvula de descarga 05

Trocar tampa da válvula de descarga 05

Trocar junta da tampa da válvula de descarga 05

Trocar trava do obturador da válvula de descarga 05

Trocar junta da válvula principal

Trocar válvula principal da caldeira

Trocar junta da entrada de água da caldeira

Trocar anel de vedação da válvula principal da caldeira

Verificar válvula principal da caldeira

Remover redutor para revisão da correia transportadora
01

Usinar polia da correia transportadora 01

Ajustar tambor de esticamento da correia transportadora 01

Trocar rolete de impacto da correia transportadora 01

Realizar reparo do rolete de impacto da correia transportadora 01

Trocar rolete de retorno da correia transportadora 01

Realizar reparo do rolete de retorno da correia transportadora 01

Trocar rolete de autoalinhamento de retorno da correia transportadora 01

Realizar reparo do rolete de autoalinhamento de retorno da correia transportadora 01

Trocar rolete de autoalinhamento de carga da correia transportadora 01

Realizar reparo do rolete de autoalinhamento de carga da correia transportadora 01

Trocar rolete de transição da correia transportadora 01

Realizar reparo do rolete de transição da correia transportadora 01

Verificar conjunto de acionamento da correia transportadora 01

Realizar reparo do conjunto de acionamento da correia transportadora 01

Substituição de conjunto de acionamento da correia transportadora 01

Ajustar tambor de retorno da correia transportadora 01

Limpar o chute de descarga da correia transportadora 01

Limpar as guias laterais da correia transportadora 01

Realizar reparo do limpador da correia transportadora 01

Trocar correia transportadora 01

Grupo 02

Substituição do parafuso de pressão de parada do pressostato

Substituição do retentor da mola do pressostato

Substituição do parafuso de aterramento do pressostato

Trocar alavanca da válvula de descarga 01

Trocar tubo conector da válvula de descarga 01

Trocar retentor da válvula de descarga 01

Trocar parafuso regulador da válvula de descarga 01

Trocar anel de vedação da válvula de descarga 01

Trocar sensor da válvula de descarga 01

Trocar obturador da válvula de descarga 01

Trocar tampa da válvula de descarga 01

Trocar trava do obturador da válvula de descarga 01

Trocar alavanca da válvula de descarga 02

Trocar parafuso regulador da válvula de descarga 02

Trocar obturador da válvula de descarga 02

Trocar trava do obturador da válvula de descarga 02

Trocar diafragma do piloto da válvula de descarga 02

Trocar válvula de descarga 05

Trocar sensor da válvula principal da caldeira

Trocar obturador da válvula principal da caldeira

Trocar trava do obturador da válvula principal da caldeira

Trocar diafragma do piloto da válvula principal da caldeira

Remover redutor para revisão da correia transportadora 02

Usinar polia da correia transportadora 02

Ajustar tambor de esticamento da correia transportadora 02

Trocar rolete de impacto da correia transportadora 02

Realizar reparo do rolete de impacto da correia transportadora 02

Trocar rolete de retorno da correia transportadora 02

Realizar reparo do rolete de retorno da correia transportadora 02

Trocar rolete de autoalinhamento de retorno da correia transportadora 02

Realizar reparo do rolete de autoalinhamento de retorno da correia transportadora 02

Trocar rolete de autoalinhamento de carga da correia transportadora 02

Realizar reparo do rolete de autoalinhamento de carga da correia transportadora 02

Trocar rolete de transição da correia transportadora 02

Realizar reparo do rolete de transição da correia transportadora 02

Verificar conjunto de acionamento da da correia transportadora 02

Remover redutor para revisão da correia transportadora 03

Usinar polia da correia transportadora 03

Ajustar tambor de esticamento da correia transportadora 03

Trocar rolete de impacto da correia transportadora 03

Realizar reparo do rolete de impacto da correia transportadora 03

Trocar rolete de retorno da correia transportadora 03

Realizar reparo do rolete de retorno da correia transportadora 03

Trocar rolete de autoalinhamento de retorno da correia transportadora 03

Realizar reparo do rolete de autoalinhamento de retorno da correia transportadora 03

Trocar rolete de autoalinhamento de carga da correia transportadora 03

Realizar reparo do rolete de autoalinhamento de carga da correia transportadora 03

Grupo 03	Trocar rolete de transição da correia transportadora 03
	Realizar reparo do rolete de transição da correia transportadora 03
	Verificar conjunto de acionamento da da correia transportadora 03
	Realizar reparo do de conjunto de acionamento da correia transportadora 03
	Substituição de conjunto de acionamento da correia transportadora 03
	Ajustar tambor de retorno da correia transportadora 03
	Limpar o chute de descarga da correia transportadora 03
	Limpar as guias laterias da correia transportadora 03
	Realizar reparo do do Limpador da correia transportadora 03
	Trocar correia transportadora 03
	Substituição da mola de tensão do pressostato
	Substituição da mola de compressão do pressostato
	Substituição do braço articulado do pressostato
	Trocar junta da tampa da válvula de descarga 01
	Trocar diafragma do piloto da válvula de descarga 01
	Trocar mola da válvula de descarga 02
	Trocar suporte da mola da válvula de descarga 02
	Trocar retentor da válvula de descarga 02
	Trocar anel de vedação da válvula de descarga 02
	Trocar alavanca da válvula principal da caldeira
	Trocar tubo conector da válvula principal da caldeira
	Substituição do anel de deslizamento do pressostato
	Trocar mola da válvula de descarga 01
	Trocar suporte da mola da válvula de descarga 01
	Trocar sensor da válvula de descarga 02
	Substituição do eixo do pressostato
	Trocar tubo conector da válvula de descarga 02
	Trocar alavanca da válvula de descarga 05

Trocar tampa da válvula principal da caldeira
Trocar junta do visor de nível da caldeira
Trocar visor de nível da caldeira
Eliminar vazamento do sifão do presostato da caldeira
Substituição da almofada de pressão do pressostato
Substituição da sapata de pressão do pressostato
Trocar tampa da válvula de descarga 02
Trocar junta da tampa da válvula de descarga 02
Trocar mola da válvula de descarga 03
Trocar suporte da mola da válvula de descarga 03
Trocar alavanca da válvula de descarga 03
Trocar tubo conector da válvula de descarga 03
Trocar mola da válvula de descarga 05
Trocar suporte da mola da válvula de descarga 05
Trocar tubo conector da válvula de descarga 05
Trocar parafuso regulador da válvula de descarga 05
Trocar sensor da válvula de descarga 05
Trocar diafragma do piloto da válvula de descarga 05
Trocar mola da válvula principal da caldeira
Trocar suporte da mola da válvula principal da caldeira
Trocar retentor da válvula principal da caldeira
Trocar parafuso regulador da válvula principal da caldeira
Trocar junta da tampa da válvula principal da caldeira
Realizar reparo do de conjunto de acionamento da correia transportadora 02
Substituição de conjunto de acionamento da correia transportadora 02
Ajustar tambor de retorno da correia transportadora 02
Limpar o chute de descarga da correia transportadora 02
Limpar as guias laterais da correia transportadora 02

Realizar reparo do limpador da correia transportadora
02

Trocar correia transportadora 02

Trocar calha de saída da moega para correia

Verificar rosca dosadora da moega

Substituir calha da rosca transportadora de cavaco

Substituir contactor da moega md/35

Realizar reparo da chapa de aço da moega

Pintura anti-ferrugem da moega

Realizar reparo do suporte da moega

Trocar suporte da moega

Trocar moega

Trocar conexões da peneira de discos

Substituir rolamento

Substituir disco

Realizar reparo no disco

Substituir eixo

Retificar eixo

Substituir motor

Retificar motor

Substituir rolamento do motor

Realizar reparo na alimentação de força do motor

Realizar manutenção no controle do motor

Trocar peneira de discos

Fonte: A autora

APÊNDICE L – FERRAMENTA DE APOIO

A autora deste trabalho optou por desenvolver a ferramenta de apoio no ambiente web pois, assim facilitaria a utilização da mesma por meio do *desktop* ou algum dispositivo *mobile*. Outra decisão arquitetural diz respeito à linguagem de programação para implementar a ferramenta, a linguagem escolhida foi Python com o *framework* Django pelo fato destes possuírem uma ampla comunidade para solução de dúvidas e também uma vasta documentação além de, Python ser uma linguagem de alto nível que possibilita facilitar a abstração no desenvolvimento de diversas funcionalidades.

DETALHAMENTO DA FERRAMENTA DE APOIO

As subseções a seguir irão detalhar a utilização da ferramenta de apoio do processo SMIPP através da descrição das telas da mesma.

Tela inicial

A Figura 101 apresenta a primeira tela que o usuário terá contato ao acessar a ferramenta de apoio do processo SMIPP. Por meio desta tela o usuário poderá fazer *login*, através do preenchimento dos campos usuário e senha pois, esses são de preenchimento obrigatório.

Além disso, essa mesma tela também disponibiliza a opção de cadastrar um novo usuário mediante preenchimento do usuário, senha e confirmação da senha. Lembrando que ao lado de cada campo o sistema exibe as regras para criação do usuário e senha. Todos os campos são de preenchimento obrigatório.

Figura 100 – Tela de cadastro do usuário

Cadastrar novo usuário

Usuário: Deve conter no máximo 15 caracteres entre letras, dígitos e @ / . / + / - / _ .

Senha:

- Sua senha não pode ser muito semelhante às suas outras informações pessoais.
- Sua senha deve conter pelo menos 3 caracteres.
- Sua senha não pode ser uma senha comumente usada.
- Sua senha não pode ser totalmente numérica.

Confirmação de senha: Digite a mesma senha de antes, para verificação.

Fonte: A autora

Caso o usuário já possua cadastro basta fazer o login para acessar o sistema, conforme ilustra a Figura 101. Ao entrar no sistema será apresentada para o usuário a tela inicial de

acordo com a Figura 102. Caso o usuário esteja navegando pelo sistema e deseja retornar a tela inicial basta clicar no primeiro botão do menu, SMIPP.

Figura 101 – Tela de login



Fonte: A autora

Figura 102 – Tela inicial



Fonte: A autora

Menu Ativo

Ao clicar no botão Ativo é exibido um submenu com as opções Consultar e Cadastrar ativo. Ao clicar na primeira opção o usuário é redirecionado para uma tela conforme mostram as Figuras 103 e 104.

Figura 103 – Tela de consulta de ativo - Parte I

SMIPP	Ativo ▾	Atividade ▾	Decisões estratégicas ▾	Priorização ▾	Ajuda ▾	Bem-vindo(a) user9	Sair
-------	---------	-------------	-------------------------	---------------	---------	--------------------	------

Ativo	Consultar ativo
-------	-----------------

Candidatos				
	Ativo	Sistema	Componentes	Detalhes
☐	Caldeira industrial de biomassa	Balão	- Linha de vapor - Visor de nível da caldeira - Pressostato da caldeira - Válvula 01 de descarga de fundo - Válvula 02 de descarga de fundo - Válvula 03 de descarga de fundo - Válvula 05 de descarga de fundo - Válvula principal da caldeira	
☐	Caldeira industrial de biomassa	Abastecimento de água	- Tanque de água fresca para os abrandadores - Tanque de alimentação da caldeira - Tanque de sistema de abrandamento de água da caldeira - Tanque de descarga de fundo - Abrandador 01 - Abrandador 02 - Bomba de água de alimentação da caldeira 01 - Bomba de água de alimentação da caldeira 02 - Linha de condensado	
☐	Caldeira industrial de biomassa	Exaustão	- Chaminé - Exaustor de tragem da caldeira	
☐	Caldeira industrial de biomassa	Transporte de cavaco	- Moega mdi35 - Correia transportadora 01 - Correia transportadora 02 - Correia transportadora 03 - Peneira de disco	

Fonte: A autora

Figura 104 – Tela de consulta de ativo - Parte II

☐	Caldeira industrial de biomassa	Exaustão	- Chaminé - Exaustor de tragem da caldeira	
☐	Caldeira industrial de biomassa	Transporte de cavaco	- Moega mdi35 - Correia transportadora 01 - Correia transportadora 02 - Correia transportadora 03 - Peneira de disco	
☐	Caldeira industrial de biomassa	Fornalha	- Rosca de cavaco da peneira de disco - Rosca dosadora de cavaco da caldeira - Válvula rotativa 01 - Válvula rotativa 02	
☐	Caldeira industrial de biomassa	Ventilação	- Ventilador de ar secundário sh-355 - Ventilador de ar primário sh-300	

[Adicionar na lista](#)
[Cadastrar](#)
[Editar](#)
[Excluir](#)

Selecionado			
Ativo	Sistema	Componentes	Detalhes
Caldeira industrial de biomassa	Balão	- Linha de vapor - Visor de nível da caldeira - Pressostato da caldeira - Válvula 01 de descarga de fundo - Válvula 02 de descarga de fundo - Válvula 03 de descarga de fundo - Válvula 05 de descarga de fundo - Válvula principal da caldeira	

Fonte: A autora

Nessa tela o usuário deverá selecionar o sistema e os componentes que deseja adicionar na lista. Essa tela também existe a possibilidade do usuário visualizar os detalhes do ativo, sistema e componentes. A Figura 105 exibe um exemplo dessa tela com alguns dados do ativo Caldeira industrial de biomassa, sistema Balão e componentes Linha de vapor, Visor de nível da caldeira e Pressostato da caldeira.

Figura 105 – Tela de detalhes do ativo

Detalhes do ativo

Ativo	Caldeira industrial de biomassa
Sistema	Balão
Componente	• Nome: Linha de vapor • Estado: Em funcionamento • Criticidade: Sim • Idade do componente na data de início do horizonte de planejamento (em horas): 80.33 • Idade efetiva do componente antes da manutenção (em horas): 82.093 • Tempo de indisponibilidade resultante de falha no componente (MTTR em horas): 3277.0 • Falhas do componente (TBF em horas): 94.2,92.8,18.5,215.7,355.9,351.6,170.1 • Custo de substituição do componente: 10000.0
Componente	• Nome: Visor de nível da caldeira • Estado: Em funcionamento • Criticidade: Sim • Idade do componente na data de início do horizonte de planejamento (em horas): 365.67 • Idade efetiva do componente antes da manutenção (em horas): 420.942 • Tempo de indisponibilidade resultante de falha no componente (MTTR em horas): 48466.0 • Falhas do componente (TBF em horas): 56.2,346.8,240.4,957.5,974.8 • Custo de substituição do componente: 2000.0
Componente	• Nome: Pressostato da caldeira • Estado: Em funcionamento • Criticidade: Sim • Idade do componente na data de início do horizonte de planejamento (em horas): 255.15 • Idade efetiva do componente antes da manutenção (em horas): 367.377 • Tempo de indisponibilidade resultante de falha no componente (MTTR em horas): 2750.0

Fonte: A autora

Ainda na tela de Consultar ativo, quando o usuário selecionar um item da lista e clicar no botão, Adicionar lista, se o usuário confirmar a adição na lista então, o item irá sumir da categoria de candidatos e será adicionado na categoria selecionado.

Caso o usuário clique na segunda opção, Cadastrar ativo, o mesmo será direcionado para uma tela conforme ilustrado na Figura 106. Essa tela solicita que o usuário preencha o nome do ativo, sistema, componente e descrição do ativo. Todos os campos são de preenchimento obrigatório com exceção da descrição.

Figura 106 – Tela de cadastro de ativo

SMIPP Ativo ▾ Atividade ▾ Decisões estratégicas ▾ Priorização ▾ Ajuda ▾ Bem-vindo(a) user9 Sair

Ativo / Cadastrar ativo

Nome:

Sistema:

Componente:

Descrição:

Cadastrar Componente Cancelar Salvar

Fonte: A autora

Essa tela também fornece a possibilidade do usuário cadastrar um componente, como mostra a Figura 107. Essa tela solicita que o usuário preencha 11 campos relativos ao componente e todos eles são de preenchimento obrigatório.

Na tela de Consultar ativo o usuário também poderá editar ou excluir um ativo como ilustram as Figuras 108 e 109, respectivamente. Em ambas as telas o usuário primeiramente precisará selecionar no mínimo um dentre os itens exibidos, se for editar será permitido apenas um item selecionado, senão se for excluir então o usuário poderá selecionar mais de um item. A diferença principal entre editar e excluir um ativo está no fato de quando o usuário clicar no primeiro ele será direcionado para uma tela que irá exibir todos os campos habilitados e já preenchidos para que ele modifique o valor existente para o que ele julgar mais adequado. Já ao clicar no segundo, o usuário continuará na tela de Consultar ativo e um *pop-up* será exibido para ele com o questionamento "Você tem certeza que deseja excluir o(s) ativo(s) selecionado(s)?", se o usuário confirmar a exclusão então, o item irá sumir da lista.

Figura 107 – Tela de cadastro de componente

SMIPP Ativo ▾ Atividade ▾ Decisões estratégicas ▾ Priorização ▾ Ajuda ▾ Bem-vindo(a) user9 [Sair](#)

Ativo / Cadastrar componente do ativo

Nome:

Estado: ▾

Criticidade:

☒ Sim

☐ Não

Idade do componente na data de início do horizonte de planejamento (em horas):

Idade efetiva do componente antes da manutenção (em horas):

Tempo de indisponibilidade resultante de falha no componente (MTTR em horas):

Falhas do componente (TBF em horas):

Custo de substituição do componente:

Parâmetro Weibull (alfa):

Parâmetro Weibull (beta):

Vida média residual:

Fonte: A autora

Figura 108 – Tela de edição de ativo

SMIPP Ativo ▾ Atividade ▾ Decisões estratégicas ▾ Priorização ▾ Ajuda ▾ Bem-vindo(a) user9 [Sair](#)

Ativo / Editar ativo

Nome:

Sistema: ▾

Componente: ▾

Descrição:

Fonte: A autora

Figura 109 – Tela de exclusão de ativo

SMIPP Ativo ▾ Atividade ▾ Decisões estratégicas ▾ Priorização ▾ Ajuda ▾ Bem-vindo(a) user9 Sair

Ativo / Consultar ativo

Candidatos

	Ativo	Sistema	Componentes	Detalhes
☒	Caldeira industrial de biomassa	Abastecimento de água	- Tanque de água fresca para os abrandadores - Tanque de alimentação da caldeira - Tanque de sistema de abrandamento de água da caldeira - Tanque de descarga de fundo - Abrandador 01 - Abrandador 02 - Bomba de água de alimentação da caldeira 01 - Bomba de água de alimentação da caldeira 02 - Linha de condensado	
☐	Caldeira industrial de biomassa	Exaustão		
☐	Caldeira industrial de biomassa	Transporte de cavaco	- Correia transportadora 02 - Correia transportadora 03 - Peneira de disco	
☐	Caldeira industrial de biomassa	Fornalha	- Rosca de cavaco da peneira de disco - Rosca dosadora de cavaco da caldeira - Válvula rotativa 01 - Válvula rotativa 02	
☐	Caldeira industrial de biomassa	Ventilação	- Ventilador de ar secundário slh-355 - Ventilador de ar primário sln-800	

Confirmar exclusão ✕

Você tem certeza que deseja excluir o(s) ativo(s) selecionado(s)?

Excluir Cancelar

Adicionar na lista Cadastrar Editar Excluir

Fonte: A autora

Menu Atividade de manutenção

Após o usuário selecionar o ativo, sistema e componentes de interesse, as atividades de manutenção correspondentes serão organizadas e listadas para que o usuário possa analisá-las. A Figura 110 apresenta a tela que é exibida quando o usuário clica no menu Atividades e submenu Consultar atividades de manutenção.

Figura 110 – Tela de consulta das atividades de manutenção

SMIPP

Ativo

Atividade

Decisões estratégicas

Priorização

Ajuda

Bem-vindo(a) user9

Sair

Atividade

Consultar atividades de manutenção

Atividades de manutenção do sistema selecionado

Componente	Atividade de manutenção	Categoria da atividade de manutenção	Detalhes
Linha de vapor	Eliminar vazamento na linha de vapor	Corretiva	
Linha de vapor	Eliminar vazamento de vapor na caldeira	Corretiva	
Linha de vapor	Substituir calha da rosca transportadora de cavaco	Corretiva	
Linha de vapor	Regular pressão na linha de vapor	Corretiva	
Linha de vapor	Trocar conexões na linha de vapor	Corretiva	
Linha de vapor	Redirecionar carga da linha de vapor	Corretiva	
Linha de vapor	Inspeccionar linha de vapor	Preventiva	
Visor de nível da caldeira	Verificar defeito no controlador de nível de água da caldeira	Corretiva	
Visor de nível da caldeira	Trocar união do visor de nível	Corretiva	
Visor de nível da caldeira	Verificar junta do visor de nível da caldeira	Preventiva	
Visor de nível da caldeira	Trocar junta do visor de nível da caldeira	Corretiva	
Visor de nível da caldeira	Trocar visor de nível da caldeira	Corretiva	
Pressostato da caldeira	Eliminar vazamento no pressostato da caldeira	Corretiva	
Pressostato da caldeira	Eliminar vazamento do sifão do pressostato da caldeira	Corretiva	
Pressostato da caldeira	Trocar pressostato da caldeira	Corretiva	
Pressostato da caldeira	Limpar as oxidações nos contatos do pressostato	Preventiva	
Pressostato da caldeira	Substituição do diafragma do pressostato	Corretiva	

Fonte: A autora

Nesta tela são exibidas as atividades de manutenção, com seus respectivos componentes, a categoria e os detalhes das atividades de manutenção. A Figura 111 mostra um exemplo dessa tela com alguns dados da atividade de manutenção, Eliminar vazamento na linha de vapor.

Figura 111 – Tela de detalhamento das atividades de manutenção

Detalhes da atividade de manutenção	
Nome	Eliminar vazamento na linha de vapor
Categoria da atividade de manutenção	Corretiva
Custo fixo	900.0
Custo variável	600.0
Tarefa preparatória de manutenção preventiva	Não se aplica
Custo da tarefa preparatória preventiva	0.0
Tarefa preparatória de manutenção corretiva	Desmontar a caldeira
Custo da tarefa preparatória corretiva	20.0

Fonte: A autora

Menu Decisões estratégicas

Mais adiante o usuário deverá definir os dados estratégicos e selecionar o(s) cenário(s) de manutenção que irão compor os cálculos que serão realizados nos próximos passos. Portanto, o menu decisões estratégicas possui 4 submenus, são eles: Consultar e cadastrar

dados estratégicos e, Consultar e cadastrar cenários de manutenção. A Figura 112 apresenta a tela de Consultar dados estratégicos na qual são exibidos os campos nome, valor e medida dos dados estratégicos. De forma semelhante a tela de Consultar ativo, essa tela também tem a possibilidade de editar e excluir os dados estratégicos.

Figura 112 – Tela de consulta dos dados estratégicos

SMIPP Ativo▼ Atividade▼ Decisões estratégicas▼ Priorização▼ Ajuda▼ Bem-vindo(a) user9 Sair				
Decisões estratégicas de parada de manutenção / Consultar dados estratégicos				
Dados estratégicos candidatos				
	Nome	Valor	Medida	Detalhes
☐	Perda de produção	5900.92	real	
☐	Tempo da manutenção	552.0	hora	
☐	Orçamento da manutenção	53000.53	real	
☐	Tempo extra	24.0	hora	
☐	Orçamento extra	265.02	real	
Cadastrar Editar Excluir				

Fonte: A autora

Além disso, a tela de Consultar dados estratégicos também possui um botão para visualizar os detalhes dos dados estratégicos. A Figura 111 mostra um exemplo dessa tela com algumas informações do dado estratégico, Perda de produção.

Figura 113 – Tela de detalhamento dos dados estratégicos

Detalhes do dado estratégico	
Nome	Perda de produção
Valor	5900.92
Medida	real
Classificação	Perda de produção
Local de aplicação	cálculo das dimensões
Descrição	

Fonte: A autora

Caso o usuário deseje cadastrar um novo dado estratégico ele deverá clicar no botão Cadastrar que será redirecionado para a tela Cadastrar dados estratégicos, conforme ilustra a Figura 114. Essa tela solicita que o usuário preencha o nome, valor, medida,

local de aplicação e descrição do dado estratégico. Todos os campos são de preenchimento obrigatório com exceção da descrição.

Figura 114 – Tela de cadastro dos dados estratégicos

Fonte: A autora

Para consultar cenários de manutenção o usuário deverá clicar no submenu Consultar cenários de manutenção que a tela Figura 115 será exibida. Nesta tela o usuário poderá visualizar nome e efeito dos cenários de manutenção.

Figura 115 – Tela de consulta dos cenários de manutenção

Cenário de manutenção candidatos						
	Nome	Efeito				Detalhes
☐	restrição de tempo	• Dado Estratégico: (Nome: Tempo da manutenção; Valor: 552.0; Medida: hora)	• Operação: -	• Valor: 120.0	• % : Não	
☐	restrição de orçamento	• Dado Estratégico: (Nome: Orçamento da manutenção; Valor: 53000.53; Medida: real)	• Operação: -	• Valor: 10.0	• % : Sim	
☐	restrição de tempo e orçamento	• Dado Estratégico: (Nome: Tempo da manutenção; Valor: 552.0; Medida: hora) • Dado Estratégico: (Nome: Orçamento da manutenção; Valor: 53000.53; Medida: real)	• Operação: - • Operação: -	• Valor: 120.0 • Valor: 10.0	• % : Não • % : Sim	

[Adicionar na lista](#)
[Cadastrar](#)
[Editar](#)
[Excluir](#)

Cenários de manutenção selecionados		
Nome	Efeito	Detalhes

Fonte: A autora

Além disso, essa tela também possui um botão para visualizar os detalhes dos cenários de manutenção. A Figura 116 mostra um exemplo dessa tela com alguns dados do cenário de manutenção, Restrição de tempo e orçamento.

Figura 116 – Tela de detalhamento dos cenários de manutenção

Detalhes do cenário de manutenção

Nome do cenário	restrição de tempo e orçamento
Efeito	- Dado Estratégico: (Nome: Tempo da manutenção; Valor: 552.0; Medida: hora) - Dado Estratégico: (Nome: Orçamento da manutenção; Valor: 53000.53; Medida: real)
	- Operação: - - Operação: -
	- Valor: 120.0 - Valor: 10.0
	% : Não % : Sim

Fonte: A autora

Caso o usuário deseje, Cadastrar cenários de manutenção, o mesmo será direcionado para uma tela conforme ilustrado na Figura 117. Essa tela solicita que o usuário preencha o nome do cenário, nome da priorização, efeito e descrição do ativo. Todos os campos são de preenchimento obrigatório com exceção da descrição.

Figura 117 – Tela de cadastro dos cenários de manutenção

SMIPP
Ativo▼
Atividade▼
Decisões estratégicas▼
Priorização▼
Ajuda▼
Bem-vindo(a) user9
Sair

Decisões estratégicas de parada de manutenção / Cadastrar cenários de manutenção

Nome do cenário:

Nome da priorização:

Efeito:

Dado estratégico: (Nome: Tempo da manutenção; Valor: 552.0; Medida: hora); Características do efeito: (Operação: -; Valor: 120.0; Porcentagem: Não)
Dado estratégico: (Nome: Orçamento da manutenção; Valor: 53000.53; Medida: real); Características do efeito: (Operação: -; Valor: 10.0; Porcentagem: Sim)

Descrição:

Cadastrar Efeito
Cancelar
Salvar

Fonte: A autora

Essa tela também fornece a possibilidade do usuário cadastrar um efeito, como mostra a Figura 118. Essa tela solicita que o usuário preencha os campos dado estratégico, operação aritmética, valor e porcentagem. Todos os campos são de preenchimento obrigatório.

Figura 118 – Tela de cadastro dos efeitos

Fonte: A autora

Menu Priorização

Para que a priorização aconteça o usuário deverá clicar no menu Priorização e depois no submenu Preencher matriz de critérios para acessar a tela que é mostra na Figura 119. Os elementos da matriz de critérios são índice de investimento na matriz, orçamento e tempo.

Figura 119 – Tela de preenchimento da matriz de critérios

Nome	Efeito
restrição de tempo e orçamento	- Dado Estratégico: (Nome: Tempo da manutenção; Valor: 552.0; Medida: hora) - Dado Estratégico: (Nome: Orçamento da manutenção; Valor: 53000.53; Medida: real)

	Índice Tempo	Índice Orçamento	Índice Investimento na Manutenção
Índice Tempo	Importância igual	1/(Importância absoluta)	1/(Importância baixa)
Índice Orçamento	Importância absoluta	Importância igual	Importância moderada
Índice Investimento na Manutenção	Importância baixa	1/(Importância moderada)	Importância igual

Fonte: A autora

Esta tela já vem preenchida automaticamente com valores consistente para poupar tempo do usuário, ou seja, a razão de consistência da matriz de critérios já vem com valor 0.024 porém, caso o usuário deseje alterar algum valor da matriz basta clicar em cima do valor que deseja alterar que o *label* se transforme em um campo texto editável, como mostra Figura 120.

Figura 120 – Tela de preenchimento da matriz de critérios editável

SMIPP Ativo ▾ Atividade ▾ Decisões estratégicas ▾ Priorização ▾ Ajuda ▾ Bem-vindo(a) user9 Sair

Priorização / Preencher matriz de critérios

Cenários de manutenção selecionados

Nome	Efeito
restrição de tempo e orçamento	- Dado Estratégico: (Nome: Tempo da manutenção; Valor: 552.0; Medida: hora) - Dado Estratégico: (Nome: Orçamento da manutenção; Valor: 53000.53; Medida: real)

Matriz de critérios **razão de consistência: 0.024**

Visualizar tabela de valores da matriz

	Índice Tempo	Índice Orçamento	Índice Investimento na Manutenção
Índice Tempo	Importância igual	1/(Importância absoluta)	1/(Importância baixa)
Índice Orçamento	Importância absoluta	Importância igual	Importância moderada
Índice Investimento na Manutenção	Importância baixa	1/(Importância moderada)	Importância igual

Fonte: A autora

Ao tirar o foco do campo modificado automaticamente a ferramenta irá avaliar se o valor inserido está dentro dos valores possíveis de serem incluídos de acordo com a tabela de valores da matriz conforme, ilustra a Figura 121.

Figura 121 – Tabela de valores possíveis da matriz

Tabela de valores da matriz	
Valor possível	Descrição
Importância igual	O critério A tem importância igual quando comparado ao critério B
Importância baixa	O critério A tem importância baixa quando comparado ao critério B
Importância moderada	O critério A tem importância moderada quando comparado ao critério B
Importância forte	O critério A tem importância forte quando comparado ao critério B
Importância absoluta	O critério A tem importância absoluta quando comparado ao critério B
1/(Importância baixa)	O critério A tem o oposto da importância baixa quando comparado ao critério B
1/(Importância moderada)	O critério A tem o oposto da importância moderada quando comparado ao critério B
1/(Importância forte)	O critério A tem o oposto da importância forte quando comparado ao critério B
1/(Importância absoluta)	O critério A tem o oposto da importância absoluta quando comparado ao critério B

Fonte: A autora

Caso o usuário tenha inserido algum valor fora dos valores da tabela de valores da matriz a ferramenta faz uma crítica exibindo a mensagem de erro "Erro! Você está inserindo valores inválidos na matriz. Clique no botão "Visualizar tabela de valores da matriz" para visualizar os valores possíveis da matriz" e reverte a modificação do usuário. A Figura 122 exibe essa tela de crítica.

Figura 122 – Tela de erro de valores inválidos na matriz de critérios

SMIPP Ativo ▾ Atividade ▾ Decisões estratégicas ▾ Priorização ▾ Ajuda ▾ Bem-vindo(a) user9 Sair

Priorização / Preencher matriz de critérios

Erro! Você está inserindo valores inválidos na matriz. Clique no botão "Visualizar tabela de valores da matriz" para visualizar os valores possíveis da matriz. ✕

Cenários de manutenção selecionados

Nome	Efeito
restrição de tempo e orçamento	- Dado Estratégico: (Nome: Tempo da manutenção; Valor: 552.0; Medida: hora) - Dado Estratégico: (Nome: Orçamento da manutenção; Valor: 53000.53; Medida: real)

Matriz de critérios **razão de consistência: 0.024**

Visualizar tabela de valores da matriz

	Índice Tempo	Índice Orçamento	Índice Investimento na Manutenção
Índice Tempo	Importância igual	1/(Importância absoluta)	1/(Importância baixa)
Índice Orçamento	Importância absoluta	Importância igual	Importância moderada
Índice Investimento na Manutenção	Importância baixa	1/(Importância moderada)	Importância igual

Fonte: A autora

A ferramenta também critica se o usuário inserir valores numéricos em vez de algum termo linguístico, a crítica ocorre através da mensagem de erro "Erro! Você está inserindo valores numéricos na matriz. Clique no botão "Visualizar tabela de valores da matriz" para visualizar os valores possíveis da matriz" como exibe a Figura 123.

Figura 123 – Tela de erro de valores numéricos na matriz de critérios

SMIPP Ativo ▾ Atividade ▾ Decisões estratégicas ▾ Priorização ▾ Ajuda ▾ Bem-vindo(a) user9 Sair

Priorização / Preencher matriz de critérios

Erro! Você está inserindo valores numéricos na matriz. Clique no botão "Visualizar tabela de valores da matriz" para visualizar os valores possíveis da matriz. ✕

Cenários de manutenção selecionados

Nome	Efeito
restrição de tempo e orçamento	- Dado Estratégico: (Nome: Tempo da manutenção; Valor: 552.0; Medida: hora) - Dado Estratégico: (Nome: Orçamento da manutenção; Valor: 53000.53; Medida: real)

Matriz de critérios **razão de consistência: 0.024**

Visualizar tabela de valores da matriz

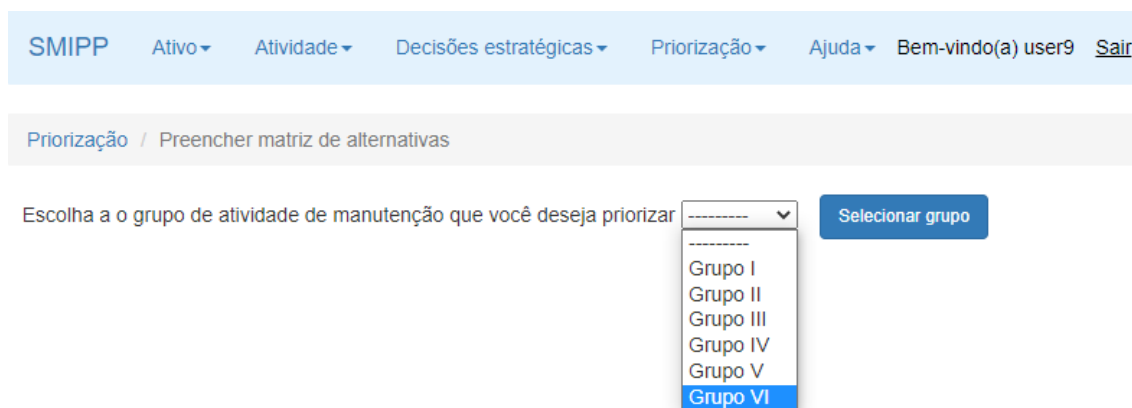
	Índice Tempo	Índice Orçamento	Índice Investimento na Manutenção
Índice Tempo	Importância igual	1/(Importância absoluta)	1/(Importância baixa)
Índice Orçamento	Importância absoluta	Importância igual	Importância moderada
Índice Investimento na Manutenção	Importância baixa	1/(Importância moderada)	Importância igual

Fonte: A autora

De forma semelhante ao descrito anteriormente preenchimento da matriz de critérios, o usuário deverá clicar no menu Priorização e depois no submenu Preencher matriz de alternativas para acessar a tela que é mostra na Figura 124. Os elementos da matriz de alternativas são as atividades de manutenção do grupo selecionado. Nessa tela o usuário

deverá selecionar o grupo com as atividades de manutenção que deseja priorizar e clicar no botão, Selecionar grupo.

Figura 124 – Tela de seleção do grupo



Fonte: A autora

Ao clicar no botão, Selecionar grupo, a tela é automaticamente recarregada e será exibida conforme mostra a Figura 125. Essa tela é bastante semelhante a da matriz de critérios inclusive, possuindo a mesma funcionalidade de edição dos valores pré-estabelecidos pela ferramenta. As principais diferenças são 1) essa tela possui mais de uma matriz pois, diferentemente da matriz de critérios que é única, a quantidade de matrizes de alternativas depende da quantidade de elementos na matriz de critérios pois, as alternativas vão ser julgadas de acordo com cada critério independentemente e, 2) o botão Executar a priorização que inicia a realização da priorização propriamente dita.

Importante destacar que a função do botão, Executar a priorização, é a mesma do submenu, Verificar os resultados da priorização. Caso os valores das matrizes de critério e alternativas estejam inconsistentes, ou seja, com a razão de consistência com valor maior que 0.10 então, a ferramenta irá interromper a execução da priorização retornar para a tela de preenchimento da matriz que está inconsistente, destacar em vermelho o *label* razão de consistência com seu respectivo valor além de exibir uma mensagem de erro para o usuário preencher novamente a matriz.

Caso a priorização aconteça com sucesso, após a mesma ser executada é exibida uma tela com um gráfico comparativo dos do resultado obtido através dos cálculos *fuzzy* dos algoritmos *Geometric Mean Method* (GMM) e *Fuzzy Extent Analysis* (FEA), o *ranking* das atividades de manutenção priorizadas e, por fim um resumo de todas as informações utilizadas durante o planejamento e execução da priorização. As Figura 126 e 127 apresentam essa tela.

Figura 125 – Tela de preenchimento da matriz de alternativas

SMIPP Ativo ▾ Atividade ▾ Decisões estratégicas ▾ Priorização ▾ Ajuda ▾ Bem-vindo(a) user9 Sair

Priorização / Preencher matriz de alternativas

Informação importante! A matriz de alternativas já está preenchida com sugestão de valores. Para modificar os valores basta clicar no valor, apagá-lo e inserir o valor desejado. ✕

Matriz de alternativas do Grupo IV [Visualizar tabela de valores da matriz](#) [Executar a priorização](#)

Matriz de alternativas do Índice Tempo **razão de consistência: 0.024**

	Trocar mola da válvula de descarga 01	Trocar suporte da mola da válvula de descarga 01	Trocar retentor da válvula de descarga 03
Trocar mola da válvula de descarga 01	Importância igual	1/(Importância absoluta)	1/(Importância baixa)
Trocar suporte da mola da válvula de descarga 01	Importância absoluta	Importância igual	Importância moderada
Trocar retentor da válvula de descarga 03	Importância baixa	1/(Importância moderada)	Importância igual

Matriz de alternativas do Índice Orçamento **razão de consistência: 0.024**

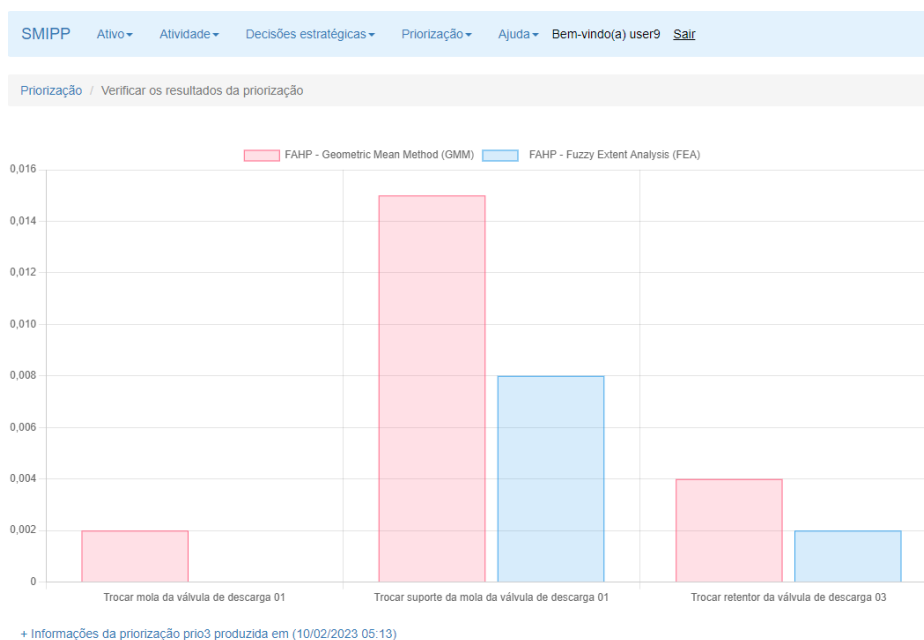
	Trocar mola da válvula de descarga 01	Trocar suporte da mola da válvula de descarga 01	Trocar retentor da válvula de descarga 03
Trocar mola da válvula de descarga 01	Importância igual	1/(Importância absoluta)	1/(Importância baixa)
Trocar suporte da mola da válvula de descarga 01	Importância absoluta	Importância igual	Importância moderada
Trocar retentor da válvula de descarga 03	Importância baixa	1/(Importância moderada)	Importância igual

Matriz de alternativas do Índice Investimento na Manutenção **razão de consistência: 0.024**

	Trocar mola da válvula de descarga 01	Trocar suporte da mola da válvula de descarga 01	Trocar retentor da válvula de descarga 03
Trocar mola da válvula de descarga 01	Importância igual	1/(Importância absoluta)	1/(Importância baixa)
Trocar suporte da mola da válvula de descarga 01	Importância absoluta	Importância igual	Importância moderada
Trocar retentor da válvula de descarga 03	Importância baixa	1/(Importância moderada)	Importância igual

Fonte: A autora

Figura 126 – Tela de resultados da priorização - Parte I



Fonte: A autora

Figura 127 – Tela de resultados da priorização - Parte II

+ Informações da priorização prio3 produzida em (10/02/2023 05:13)

Resultados da priorização					
Método multicritério	Tecnologia de IA	Tipo de algoritmo	Atividade	Valor	Ranking
Analytic Hierarchy Process (AHP)	Lógica fuzzy	Geometric Mean Method (GMM), proposto por Buckley (1985)	Trocar mola da válvula de descarga 01	0.002	3 °
			Trocar suporte da mola da válvula de descarga 01	0.015	1 °
			Trocar retentor da válvula de descarga 03	0.004	2 °
		Fuzzy Extent Analysis (FEA) original, proposto por Chang (1996)	Trocar mola da válvula de descarga 01	0.0	3 °
			Trocar suporte da mola da válvula de descarga 01	0.008	1 °
			Trocar retentor da válvula de descarga 03	0.002	2 °

Índices calculados

Nome	Valor	Nome	Valor
Dimensão Produção	166200.0	Índice Tempo	7.848
Dimensão Orçamento	3684100.0	Índice Orçamento	77.666
Dimensão Orçamento	13298.65 (antes da manutenção) e 12507.649 (depois da manutenção)	Índice Investimento na manutenção	0.0

Ativo, sistema e componentes selecionados

Nome	Sistema	Componentes
Caldeira industrial de biomassa	Balão	• Linha de vapor • Visor de nível da caldeira • Pressostato da caldeira • Válvula 01 de descarga de fundo • Válvula 02 de descarga de fundo • Válvula 03 de descarga de fundo • Válvula 05 de descarga de fundo • Válvula principal da caldeira

Atividades de manutenção

Componente	Atividade de manutenção	Categoria da atividade de manutenção
Válvula 01 de descarga de fundo	Trocar mola da válvula de descarga 01	Corretiva
Válvula 01 de descarga de fundo	Trocar suporte da mola da válvula de descarga 01	Corretiva

Fonte: A autora

Figura 128 – Tela de consulta das priorizações anteriores

SMIPP Ativo ▾ Atividade ▾ Decisões estratégicas ▾ Priorização ▾ Ajuda ▾ Bem-vindo(a) user9 Sair

Priorização / Consultar priorizações anteriores

Priorizações anteriores:

Priorização: prio5; Data: 19/10/2021 06:07
 Priorização: prio5; Data: 19/10/2021 06:09
 Priorização: prio5; Data: 19/10/2021 06:11
 Priorização: prio5; Data: 23/10/2021 09:14
 Priorização: prio5; Data: 23/10/2021 10:09
 Priorização: prio5; Data: 23/10/2021 17:58
 Priorização: prio5; Data: 23/10/2021 19:16
 Priorização: prio5; Data: 24/10/2021 17:33
 Priorização: prio5; Data: 24/10/2021 17:47
 Priorização: prio5; Data: 24/10/2021 17:52
 Priorização: prio5; Data: 24/10/2021 17:59
 Priorização: prio5; Data: 24/10/2021 18:05
 Priorização: prio5; Data: 24/10/2021 18:08
 Priorização: prio5; Data: 24/10/2021 18:27
 Priorização: prio5; Data: 24/10/2021 18:32
 Priorização: prio5; Data: 24/10/2021 18:43
 Priorização: prio5; Data: 24/10/2021 18:53
 Priorização: prio5; Data: 24/10/2021 19:07
 Priorização: prio5; Data: 24/10/2021 19:10

Fonte: A autora

Caso o usuário deseje pesquisar priorizações anteriores ele poderá clicar no menu

Priorização e no submenu Consultar priorizações anteriores, como mostra a Figura 128. Após isso, ele será redirecionado para uma tela com um campo para ele selecionar a priorização que ele pretende consultar. As priorizações são identificadas pelo nome, data e hora que foram executadas. Ao selecionar a priorização o usuário deverá clicar no botão, Consultar. Em seguida a tela será carregada com o *layout* já exibido nas Figuras 126 e 127 porém, com as informações da priorização selecionada.

Menu Ajuda

A Figura 129 apresenta a tela do manual do usuário com vários questionamentos para que o usuário possa esclarecer suas dúvidas à respeito do processo SMIPP, seus passos, artefatos de entrada e saída, do planejamento e execução da priorização, entre outros. O usuário poderá expandir apenas o questionamento desejado ou todos de uma só vez.

Figura 129 – Tela do manual do usuário



Fonte: A autora

Por fim, a Figura 130 mostra a tela de Sobre da ferramenta. Essa tela descreve a autoria do *software* e os termos definidos pela autora para cópia, reprodução, alteração ou disseminação do mesmo.

Figura 130 – Tela de Sobre

