

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

NAIARA MEIRELES DE SOUZA

**MODELO MULTICRITÉRIO PARA POLÍTICA DE INSPEÇÃO EM
PAVIMENTOS UTILIZANDO *DELAY TIME MODELLING***

Recife

2017

NAIARA MEIRELES DE SOUZA

**MODELO MULTICRITÉRIO PARA POLÍTICA DE INSPEÇÃO EM
PAVIMENTOS UTILIZANDO *DELAY TIME MODELLING***

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Pernambuco como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Área de Concentração: Gerência da Produção.

Orientador: Prof. Dr. Adiel Teixeira de Almeida Filho.

Recife
2017

Catálogo na fonte
Bibliotecária Maria Luiza de Moura Ferreira, CRB-4 / 1469

S729m Souza, Naiara Meireles de.

Modelo multicritério para política de inspeção em pavimentos utilizando *Delay Time Modelling* / Naiara Meireles de Souza. - 2017.

161 folhas, il., tabs.

Orientador: Prof. Dr. Adiel Teixeira de Almeida Filho.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, 2017.

Inclui Referências, apêndice e anexo.

1. Engenharia de Produção. 2. Pavimentos asfálticos aeroportuários. 3. Inspeção.
 4. Manutenção preventiva. 5. *Delay Time Modelling*. I. Almeida Filho, Adiel Teixeira de (Orientador).
- II. Título.

UFPE

658.5 CDD (22. ed.)

BCTG/2017-172

DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE

NAIARA MEIRELES DE SOUZA

**“MODELO MULTICRITÉRIO PARA POLÍTICA DE
INSPEÇÃO EM PAVIMENTOS UTILIZANDO *DELAY TIME*
MODELLING”**

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: GERÊNCIA DA PRODUÇÃO

A comissão examinadora composta pelos professores abaixo, sob a presidência do primeiro, considera a candidata NAIARA MEIRELES DE SOUZA Aprovada.

Recife, 21 de fevereiro de 2017.

Prof. ADIEL TEIXEIRA DE ALMEIDA FILHO, Doutor (UFPE)

Prof. CRISTIANO ALEXANDRE VIRGÍNIO CAVALCANTE, Doutor (UFPE)

Prof. IGOR FERNANDES GOMES, Doutor (UFPE)

À minha mãe que no ofício de professora sempre sonhou em ser mestre, mas pelas dificuldades da vida não conseguiu realizar esse sonho. O sonho de ser mestre é um sonho compartilhado com a minha mãe Neuza Meireles.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, irmãos e cunhados, por sempre acreditarem nessa conquista e por apoiarem em todos os momentos, sobretudo nos mais difíceis. Agradeço aos meus sobrinhos Gabriel, Júnior, Miguel e Maria Clara pela inspiração.

À paciência e ensinamentos do meu orientador Adiel Teixeira de Almeida Filho.

Ao companheirismo dos meus amigos do PPGEP, Alexandre, Danielle, Lucimário, Lucas, Madson, Mariana, Mirella e Priscilla, pelas conversas, subsídios e por compreensão nos momentos de alegrias e principalmente de tensão. Aos amigos de Espigão do Oeste e Cacoal - RO, Barra do Bugres - MT, Nobres - MT, São Paulo - SP e Curitiba - PR pelo apoio e torcida. Agradeço ao Rodrigo Fischer, que entendeu a importância do meu trabalho e se prontificou a ajudar não apenas com dados, mas com suas experiências e conhecimentos subjetivos que fizeram uma diferença enorme para meu aprendizado e realização do estudo de caso.

Agradeço ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Pernambuco pela oportunidade de realização desse sonho. Agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro para que fosse possível realizar esse ciclo.

Agradeço sobretudo à Deus, pois sem ele nenhum desses agradecimentos seria possível!

“Você não precisa de sonhos para vencer um resfriado, mas precisará de muitos sonhos para suportar com alegria uma doença crônica, para superar com coragem um câncer, um enfarte, um acidente. Precisarás de sonhos para acreditar na vida e fazer de cada minuto um momento eterno, mesmo no leito de um hospital. Precisarás sonhar com os patamares mais altos da qualidade de vida para não se transformar em uma máquina de trabalhar e não se destruir pelo estresse e ansiedade. Precisarás de sonhos para repensar seu estilo de vida e investir naquilo que você ama. Precisarás de sonhos afetivos para não expor sua frágil vida a riscos numa estrada. Afinal de contas, sempre existe alguém que ama você mais do que possa imaginar.... Aprendi que os sonhos transformam a vida numa grande aventura. Eles não determinam o lugar aonde você vai chegar, mas produzem a força necessária para arrancá-lo do lugar em que você está. Aprendi que ninguém é digno do pódio se não usar suas derrotas para alcançá-lo. Ninguém é digno da sabedoria se não usar suas lágrimas para cultivá-la. Ninguém terá prazer no estrelato se desprezar a beleza das coisas simples no anonimato. Pois nelas se escondem os segredos da felicidade... por isso, nunca desista dos seus sonhos. ” (Augusto Cury).

RESUMO

O estado de conservação de pavimentos asfálticos pode interferir diretamente no desgaste de veículos e aviões, bem como na segurança de seus usuários. A principal função requerida pelas aeronaves sobre pavimentos asfálticos de aeródromos relaciona-se ao processo de pousos e decolagens. Assim, para que operações de complexos aeroportuários sejam exercidas de maneira adequada é demandado infraestrutura que considere especialmente a movimentação das aeronaves. Por isso, os revestimentos asfálticos são considerados um dos principais componentes estruturais de aeroportos juntamente com suas instalações e equipamentos. Desse modo, a conservação dos pavimentos asfálticos gera um impacto direto na disponibilidade e custo de operações. Assim, a manutenção de pavimentos apresenta-se como um problema não somente do modal rodoviário, mas também do modal aéreo, uma vez que a deterioração de pavimentos, seja por fatores climáticos ou operacionais, apresenta-se como um dos fatores mais recorrentes de incidentes em solo envolvendo aviões. Atrelado a esse contexto, essa pesquisa sugere um modelo multicritério envolvendo uma política de inspeção em pavimentos utilizando o *Delay Time Modelling* com o intuito de determinar o período ótimo de inspeções e manutenção preventiva em um aeroporto brasileiro localizado na região Nordeste, visando o critério de custo e disponibilidade das operações do aeródromo. Os pavimentos asfálticos estão sujeitos a uma série de defeitos e falhas, sobretudo buracos advindos da propagação das trincas. Desse modo, os buracos foram considerados o objeto de estudo por serem os que mais dependem de tratativas de manutenção em pavimentos. O modelo proposto objetivou sugerir o intervalo ideal de inspeção e de ações preventivas de manutenção com foco no custo e na disponibilidade por meio de coleta de dados objetivos e subjetivos de acordo com o conhecimento a priori de especialista. Além disso, através da aplicação da Teoria da Utilidade Multiatributo foi possível encontrar a maior função utilidade e determinar o intervalo ideal de inspeção de modo que o critério custo e disponibilidade pudessem ser desempenhados ao mesmo tempo.

Palavras-chave: Pavimentos asfálticos aeroportuários. Inspeção. Manutenção preventiva. *Delay time modelling*.

ABSTRACT

The asphalt pavements conservation status can directly interfere the utilization of vehicles and aircrafts and consequently in the safety of its users. The main function required by an aircraft on asphalt pavements of aerodromes is related to the landings and take-offs processes. Therefore, for the airport complexes' operations to be properly carried, it is required an infrastructure that especially considers the movement of the aircrafts. For that reason, asphalt coatings are considered one of the main structural components of the airports, along with its facilities and equipments the good conservation of asphalt pavements generates a direct impact on the availability and cost of the airports operations. Thus, the maintenance of pavement is not only a road transport problem but also to the air transport, since the deterioration of pavements, either by weather or operational factors, is one of the recurring factors responsible for incidents involving aircrafts on the ground. Related to this context, this research suggests a multi-criteria model involving a pavement inspection policy, using the *Delay Time Modeling*, in order to establish the optimal period of inspections and preventive maintenance in a Brazilian airport located in the Northeast area, aiming the cost and availability of aerodrome operations criteria. The asphalt pavements are the main cause to a set of defects and failures, particularly the holes arising from the propagation of cracks on its structure. As a consequence, the holes were considered the object of this study because they are the ones that most demand maintenance interventions. The proposed model aimed to suggest the optimal intervals for both inspection and preventive maintenance actions focusing on cost and availability through the collection of objective and subjective data according to a priori expert knowledge. Moreover, by applying the Multiattribute Utility Theory it was found the greater utility function and determined the optimal inspection interval, so that the cost and availability criteria could be simultaneously performed.

Keywords: Airport asphalt pavements. Inspection. Preventive maintenance. Delay time modelling.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2.1: Delay Time de um defeito.....	35
Figura 3.1:Relação entre os custos com manutenção preventiva e corretiva.....	50
Figura 3.2: Diferença entre pavimento flexível e rígido	58
Figura 4.1: Curva da banheira.....	73
Figura 4.2:Relação de taxas de falha e curva da banheira	74
Figura 5.1:Balanco da divisão de cargas de trens de pouso de aeronaves.....	78
Figura 5.2:Diferença entre trens de pousos de aviões	78
Figura 5.3:Pista de pouso e decolagem, taxiways e visão geral do Aeroporto Internacional de Recife.	81
Figura 5.4: Características de uma pista de pouso e decolagem.	81
Figura 5.5: Esquema de um TPS – Terminal de Passageiros de um aeroporto.....	86
Figura 5.6: Cabeceira 18 e 36 da pista de pouso e decolagem do Aeroporto Inter. de Recife	88
Figura 5.7: BoxPlot dos tempos de reparo do subgrupo 1 a 8.....	91
Figura 5.8: Boxplot da variação entre os subgrupos 9 a 12.....	92
Figura 5.9: TBF da pista de pouso e decolagem - 18/36.....	94
Figura 5.10: Distribuição TBF das pistas de taxiways	94
Figura 5.11: Distribuição TBF do pátio da aviação geral e hangares.	95
Figura 5.12: Distribuição TBF do terminal de passageiros (TPS II).....	96
Figura 5.13: Distribuição Exponencial do TBF da pista de pouso e decolagem.	97
Figura 5.14: Distribuição Exponencial do TBF das pistas de taxiways.....	98
Figura 5.15: Distribuição Exponencial do TBF pátio da aviação geral e hangares.....	99
Figura 5.16: Distribuição Exponencial do TBF do terminal de passageiros – TPS II	100
Figura 5.17: Custo total para correção de falhas;	100
Figura 5.18: Custo esperado por inspeção	108
Figura 5.19: Análise de sensibilidade 1 – Variação de λ	109
Figura 5.20: Análise de sensibilidade 2 – Variação do custo por inspeção.	111
Figura 5.21: Análise de sensibilidade 3 – Variação do custo de manutenção preventiva.	113
Figura 5.22: Análise de sensibilidade 3 – Variação do custo para substituição devido a falha.	113
Figura 5.23: Processo de decolagem de aviões com ou sem falhas em um dos motores	117
Figura 5.24: Procedimento de pouso de aviões;.....	118
Figura 5.25: Diagrama de contato de aeronaves com o pavimento asfáltico no aeroporto de Recife;	119
Figura 5.26: Divisão da pista 18/36 do aeroporto de Recife para exposição de cenários de falhas;.....	120
Figura 5.27: Probabilidade das cabeceiras 18 e 36 estarem disponíveis;	120
Figura 5.28: Probabilidade do segundo trecho (103 a 450 m da pista) estar disponível	121
Figura 5.29: Probabilidade do terceiro macro trecho (parte central da pista) estar disponível	122
Figura 5.30: Aspectos do espaço de consequências	124
Figura 5.31: Espaço de consequências do custo e da disponibilidade (A1, A2 e A3).....	126

Figura 5.32: Equivalentes certos e loterias para a obtenção da função utilidade do critério custo	126
Figura 5.33: Função utilidade para o critério custo para o primeiro macro trecho.....	127
Figura 5.34: Equivalentes certos e loterias para a obtenção da $f(u_i)$ do critério disponibilidade	128
Figura 5.35: Função utilidade para o critério disponibilidade para o segundo macro trecho	128
Figura 5.36: Equivalentes certos e loterias do critério custo – Trecho 2.....	129
Figura 5.37: Função utilidade do custo – Trecho 2.....	129
Figura 5.38: Equivalentes certos e loterias do critério disponibilidade do terceiro macro trecho.....	130
Figura 5.39: Função utilidade para o critério disponibilidade – Trecho 2.....	130
Figura 5.40: Equivalentes certos e loterias do critério custo – Trecho 3.....	131
Figura 5.41: Função utilidade do custo – Trecho 3	131
Figura 5.42: Equivalentes certos e loterias do critério disponibilidade do terceiro macro trecho.....	131
Figura 5.43: Função utilidade para o critério disponibilidade – Trecho 3	132
Figura 5.44: Verificação de independência em utilidade de C em relação a A1, A2 e A3	133
Figura 5.45: Verificação de independência em utilidade de C em relação a A1, A2 e A3	134
Figura 5.46: Loteria para avaliação de independência entre os atributos do primeiro macro trecho.....	135
Figura 5.47: Loteria para avaliação de independência entre os atributos do segundo macro trecho.....	136
Figura 5.48: Loteria para avaliação de independência entre os atributos do terceiro macro trecho	136
Figura 5.49: Função multiatributo do primeiro macro trecho.....	142
Figura 5.50: Função multiatributo do segundo macro trecho.....	143
Figura 5.51: Função multiatributo do segundo macro trecho	143

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1: Probabilidades subjetivas	28
Tabela 2.2: Níveis de serventia de conforto ao rolamento do pavimento	40
Tabela 4.1: Dados considerados no modelo de custo.....	65
Tabela 5.1: Tempos de reparo.....	89
Tabela 5.2: Descrição de dados dos subgrupos.....	91
Tabela 5.3: Tempo médio de reparo – MTTR (horas).....	102
Tabela 5.4: Tempo médio entre falhas – MTBF (horas).....	103
Tabela 5.5: Tempo médio por inspeção semanal (horas).....	103
Tabela 5.6: Impactos que os defeitos causam ao desempenho do pavimento.....	105
Tabela 5.7: Relação de custos.....	107
Tabela 5.8: Custo esperado por inspeção.....	107
Tabela 5.9: Análise de sensibilidade 1 – Variação de λ	110
Tabela 5.10: Análise de sensibilidade 2 – Variação do custo de inspeção	112
Tabela 5.11: Análise de sensibilidade 3 – Variação do cp e cf devido a falha	114
Tabela 5.12: Espaço de conseqüências - atributos de custo e disponibilidade (A2 e A3)	125
Tabela 5.13: Função utilidade do custo – Trecho 1	127
Tabela 5.14: Função utilidade da disponibilidade – Trecho 1.....	128
Tabela 5.15: Função utilidade do custo – Trecho2	129
Tabela 5.16: Função utilidade da disponibilidade – Trecho 2.....	130
Tabela 5.17: Função utilidade do custo – Trecho 3	131
Tabela 5.18: Função utilidade da disponibilidade – Trecho 3.....	132
Tabela 5.19: Espaço de conseqüências por trechos	137
Tabela 5.20: Processo de trade-off - primeiro macro trecho	137
Tabela 5.21: Processo de trade-off - segundo macro trecho	138
Tabela 5.22: Processo de trade-off - terceiro macro trecho	139

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANAC – Agência Nacional de Aviação Civil

AHP – *Analytic Hierarchy Process*

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes

DTM – *Delay Time Modelling*

ELECTRE – *Élimination Et Choix Traduisant la Réalité*

FMECA – *Failure mode, effects and criticality analysis*

INFRAERO – Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária

MAUT – *Multiattribute Utility Theory*

MAVT – *Multiattribute Value Theory*

MCDA – *Multi-Criteria Decision Analysis*

MCDM – *Multiple-criteria decision-making*

MTBF – Tempo médio entre falhas

MTTR – Tempo médio de reparo

NBR – Norma Brasileira Regulamentadora

NISE – Método de Estimação do Conjunto das Soluções não Inferiores

RCM – *Reliability Centered Maintenance*

REC – Aeroporto Internacional do Recife – Código Nacional

RRM – *Risk, Reliability and Maintenance*

SFP – Processo de Filtragem Estocástica

TBF – Tempo entre falhas

TTR – Tempo de Reparo

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	JUSTIFICATIVA.....	17
1.2	OBJETIVOS DO TRABALHO.....	18
1.2.1	Objetivo geral.....	18
1.2.2	Objetivos específicos.....	18
1.3	METODOLOGIA	19
1.4	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	20
2	BASE CONCEITUAL	22
2.1	MÉTODOS MULTICRITÉRIO DE APOIO À DECISÃO	22
2.1.1	Processo decisório.....	23
2.1.2	Atores do processo decisório.....	24
2.2	O USO DO CONHECIMENTO A PRIORI DE ESPECIALISTAS	25
2.2.1	Probabilidade subjetiva e inferência bayesiana	26
2.2.2	Elicitação do conhecimento a priori de especialistas.....	27
2.3	MANUTENÇÃO	29
2.3.1	Sistemas de manutenção.....	29
2.3.1.1	<i>Modos de falha</i>	30
2.3.1.2	<i>Defeito</i>	31
2.3.1.3	<i>Confiabilidade</i>	31
2.3.1.4	<i>Mantenabilidade</i>	32
2.3.1.5	<i>Disponibilidade</i>	32
2.3.2	Tipos de manutenção.....	33
2.3.2.1	<i>Manutenção preventiva</i>	33
2.3.2.2	<i>Manutenção preditiva</i>	34
2.3.2.3	<i>Manutenção corretiva</i>	34
2.4	DELAY TIME MODELLING	34
2.5	PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA	37
2.5.1	Classificação dos pavimentos.....	38
2.5.2	Manutenção e Inspeções em Pavimentos Asfálticos	40
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	42
3.1	ANÁLISE DO USO DE MÉTODOS DE APOIO À DECISÃO NA MANUTENÇÃO	43
3.1.1	Aplicações de métodos multicritério na manutenção	44
3.2	PLANEJAMENTO E ESTRATÉGIAS DA MANUTENÇÃO	47
3.2.1	Custos de manutenção e suas variáveis dentro da política de manutenção	49
3.3	APLICAÇÕES DE DELAY TIME MODELLING	50
3.4	CONSERVAÇÃO E RESTAURAÇÃO DE PAVIMENTOS AEROPORTUÁRIOS.....	56

4	MODELO CARACTERÍSTICO DA PROBLEMÁTICA.....	60
4.1	ESTRUTURA METODOLÓGICA.....	61
4.1.1	Estruturação de objetivos	61
4.1.2	Procedimentos metodológicos.....	61
4.1.3	Conhecimento a priori de especialistas na manutenção.....	67
4.2	MODELO SUGERIDO	69
4.2.1	Determinação do custo esperado	69
4.2.2	Determinação da disponibilidade: probabilidade, confiabilidade e taxa de falha.....	71
4.2.2.1	<i>Distribuição de Weibull.....</i>	<i>72</i>
4.2.2.2	<i>Distribuição Exponencial: Um caso particular da distribuição de Weibull.....</i>	<i>74</i>
4.2.2.3	<i>Disponibilidade</i>	<i>75</i>
5	PAVIMENTAÇÃO EM AERÓDROMO: UM ESTUDO DE CASO	78
5.1	CARACTERIZAÇÃO DO AEROPORTO INTERNACIONAL DO RECIFE	79
5.2	POLÍTICA DE MANUTENÇÃO DO AEROPORTO INTERNACIONAL DE RECIFE.....	82
5.3	ANÁLISE DOS DADOS.....	83
5.3.1	Dados objetivos	83
5.3.1.1	<i>Análise dos dados de manutenções preventivas</i>	<i>84</i>
5.3.1.2	<i>Tratamento de dados de manutenções corretivas.....</i>	<i>92</i>
5.3.2	Dados subjetivos com base no conhecimento a priori de especialistas	101
5.4	APLICABILIDADE DO MODELO	104
5.4.1	Custo esperado por inspeção	104
5.4.1.1	<i>Análise de Sensibilidade do Custo Esperado por Inspeção</i>	<i>109</i>
5.4.2	Disponibilidade	114
5.4.2.1	<i>Função de probabilidade de disponibilidade</i>	<i>115</i>
5.4.3	Abordagem Multicritério	122
5.4.3.1	<i>Funções utilidade: Custo e Disponibilidade.....</i>	<i>123</i>
5.4.3.2	<i>Determinação do espaço de consequências</i>	<i>125</i>
5.4.3.3	<i>Verificação de independência em utilidade</i>	<i>132</i>
5.4.3.4	<i>Verificação de independência aditiva.....</i>	<i>135</i>
5.4.3.5	<i>Trade-off.....</i>	<i>136</i>
5.4.3.6	<i>Determinação das constantes de escala</i>	<i>139</i>
5.4.3.7	<i>Função utilidade multiatributo e solução ótima.....</i>	<i>141</i>
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	144
6.1	CONCLUSÕES.....	144
6.2	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	145
	REFERÊNCIAS	146
	APÊNDICE A – ROTEIRO PARA COLETA DE DADOS SUBJETIVOS.....	157
	ANEXO A – LAYOUT DO AEROPORTO INTERNACIONAL DE RECIFE	161

1 INTRODUÇÃO

A construção de pavimentos asfálticos pode ser considerada como um potencial alicerce para o desenvolvimento de países e sistemas em geral, mas é o estado de conservação dos mesmos que influi diretamente nessa expansão, como também no conforto e segurança de seus usuários. De acordo com Hanashiro (2011), pavimentação asfáltica inoperante ou de má qualidade são as principais causas de danos causados aos seus utentes advindos do modal rodoviário e aéreo. Assim, a conservação e manutenção de pavimentos asfálticos pode resultar em impactos diretos na estabilidade, disponibilidade, custeio e segurança de sistemas e pessoas constantemente.

De tal modo, o estado do revestimento asfáltico pode implicar diretamente no desgaste de aviões, bem como na disponibilidade do sistema e custo das operações. Para que aeronaves, sobretudo comerciais e de grande porte, desempenhem suas funções da maneira requerida, as mesmas necessitam trafegar por pavimentos para executar suas funções básicas de maneira segura. Diante da situação encontrada no Brasil onde há uma grande deficiência na manutenção de seus pavimentos asfálticos, esse estudo busca contribuir para o desenvolvimento de modelos que permitam o uso mais eficiente de recursos na manutenção de pavimentos em aeroportos, resultando na melhoria da qualidade dos pavimentos, disponibilidade e trafegabilidade das aeronaves por meio de uma política de manutenção baseada em *delay time modelling* que permita a identificação do defeito antes do surgimento da falha.

Os modelos de gestão da manutenção com o conceito *delay time modelling* (DTM) surgiram, a partir de Christer (1976) em um contexto de manutenção predial e partir de Christer e Waller (1984a) em um contexto de manutenção industrial, para incorporar aos modelos de gestão da manutenção um novo conceito para a modelagem de falhas, centralizando-se na frequência das inspeções em que o estágio inicial das falhas (chamado de defeitos) pode ser observado. A partir do DTM, assume-se que as ações corretivas sobre um defeito são menos dispendiosas do que em relação a uma falha. A partir desses trabalhos seminais, uma série de trabalhos de pesquisa surgiram referindo à teoria e aplicações de *delay time modelling* em inspeções de ativos industriais.

Diante desse contexto, um estudo realizado por Muchanga (2016) aplicou os conceitos inicialmente propostos por Christer (1976) para a manutenção de pavimentos asfálticos urbanos. Desse modo, essa pesquisa dará continuidade a esta linha de pesquisa com aplicação

do modelo em pavimentos asfálticos em um aeródromo por meio de estudo de caso, considerando na análise os critérios de custo e disponibilidade.

1.1 JUSTIFICATIVA

O Brasil começou a diminuir distâncias terrestres e ao mesmo tempo iniciou seu desenvolvimento pelo modal rodoviário entre a década de 40 e 50 por meio do impulso da construção de rodovias devido a concepção do Fundo Rodoviário Nacional em 1946, que estabeleceu um imposto sobre combustíveis líquidos. Esse fundo foi utilizado para financiar a construção de estradas pelos estados da união. Outra razão para esse desenvolvimento deve-se a Petrobrás que em 1954 investiu nessa expansão e passou a produzir asfalto em grande escala. Além disso, o grande salto do país em termos de desenvolvimento de pavimentação asfáltica se deu em 1957 com implantação da indústria automobilística nacional (CARNEIRO, 2009).

A partir desse contexto, com o avanço do desenvolvimento do país a pavimentação asfáltica também chegou rapidamente aos aeroportos brasileiros e contribuiu para que o modal aéreo também pudesse ser difundido, uma vez que sem pavimentação asfáltica fica praticamente inviável que aeronaves de grande porte executem suas funções de pouso e decolagem normalmente e de maneira segura. Portanto, a manutenção de pavimentos é um problema inerente não somente em rodovias e centros urbanos, mas também em complexos aeroportuários.

Os pavimentos em aeródromos acabam sofrendo desgaste por condições climáticas e pelas ações em processos de pouso e decolagem. Além disso, o tráfego de aviões, a carga exercida sobre os pavimentos e a manutenção insuficiente para restaurar ou manter os pavimentos na condição ideal são fatores que também contribuem diretamente para a deterioração da pavimentação em pistas de pousos e decolagens. Portanto, a conservação de pavimentos aeroportuários é uma decisão importante e estratégica para operadores de aeroportos.

Há uma série de causas que fazem com que o processo de inspeção se torne fundamental dentro da gestão da manutenção devido a inspeção ter o potencial para proporcionar o conhecimento do real estado do sistema. Portanto, ações que envolvam uma política de inspeção se tornam de extrema importância, uma vez que inspeções corresponde a um processo de vistoria técnica que visa determinar as condições de trafegabilidade do pavimento e identificar o surgimento de defeitos, falhas e outros riscos.

Desse modo, a melhoria da qualidade e a conservação de pavimentos asfálticos, bem como a expansão e otimização da infraestrutura de tráfego dos transportes no Brasil é uma necessidade eminente. Assim, a pavimentação para Bernucci *et al.* (2010), consiste em estruturas compostas por uma série de camadas que são revestidas com a finalidade de receber cargas móveis e ações climáticas. Tendo em vista que o principal modal utilizado no país é o rodoviário e que mesmo o modal aéreo necessita de uma pavimentação estruturada, surge a necessidade de desenvolver um modelo que atenda a uma política de inspeção de pavimentos asfálticos e que possa ser efetivamente aplicado.

1.2 OBJETIVOS DO TRABALHO

1.2.1 Objetivo geral

O presente trabalho tem como objetivo propor um modelo de apoio a decisão baseado nos conceitos de *delay time modelling* para definição de políticas de manutenção para pavimentos asfálticos considerando custo e disponibilidade na perspectiva de um modelo multicritério.

1.2.2 Objetivos específicos

- Coletar dados de falha e manutenção em pavimentos urbanos para desenvolver e fundamentar as atividades da pesquisa;
- Estabelecer as definições de defeito e falha para pavimentos para a estruturação do modelo;
- Analisar os dados objetivos e subjetivos coletados definindo as funções de tempos médios de atividades preventivas e corretivas;
- Aplicar o modelo proposto no Aeroporto Internacional de Recife através de um estudo de caso;
- Aplicar os resultados do modelo proposto por meio de uma abordagem multicritério para a alternativa que maximiza o intervalo ideal de inspeções.

1.3 METODOLOGIA

A metodologia empregada no presente estudo refere-se ao *delay time modelling* com a aplicação de um sistema de apoio à decisão.

De acordo com de Almeida (2013), a escolha de um método de apoio a decisão trata-se de um passo fundamental no processo de construção de modelos de decisão. Todo decisor tem um conjunto de estratégias que utilizam sempre que se deparam com um problema de tomada de decisão. Esses decisores selecionam a maneira e o modelo de estratégia que acreditam ser o mais apropriado para a problemática. De modo que, um decisor avalia uma alternativa em virtude das consequências que sua escolha irá trazer. Por isso, a escolha do método toma como base a estrutura de preferências do decisor, o cenário da organização e o tipo de problema.

Atrelado a esse contexto, destaca-se que para obter soluções que sejam ótimas, a Pesquisa Operacional se emprega por meios de modelos, geralmente matemáticos, que consistem em representações formais da realidade estudada. De tal modo, evidencia-se que *delay time modelling* é uma ferramenta de modelagem criada para modelar problemas de manutenção vinculados a inspeção e intervenções de manutenção preventiva. As etapas que irão compor a construção do modelo, segundo Hillier e Lieberman (2006), consistem na definição do problema de interesse e respectiva coleta de dados, formulação de um modelo matemático para que seja realizado a representação da problemática e desenvolvimento de um processo computacional com intuito de produzir soluções para o problema em questão a partir do modelo a priori criado. Além disso, é necessário que o modelo seja testado e aprimorado, se necessário. A preparação da aplicação contínua do modelo é a etapa seguinte e por fim, realizar a implementação do modelo de acordo com o problema proposto. E posteriormente, adaptá-lo para outras aplicações análogas.

Por se tratar de um modelo empírico (DTM) que lida com problemas específicos no qual a subjetividade está fortemente presente, vislumbrou-se a necessidade de analisá-lo baseado em modelos reconhecidos academicamente, estruturados de acordo com a teoria de sistemas de apoio multicritério à decisão. Essa teoria utiliza conceitos capazes de tratar problemas com esta característica. O modelo de DTM aplicado no presente estudo visa construir uma política que otimize as inspeções e manutenções de pavimentos asfálticos para determinar uma política de inspeção que permita a identificação do defeito antes do surgimento da falha.

Em relação aos procedimentos metodológicos adotados, esta dissertação constituiu-se no resultado de uma pesquisa descritiva. Para Lakatos e Marconi (1985, p. 138), “a pesquisa

descritiva observa, registra, analisa e correlaciona fatos ou fenômenos (variáveis) sem manipulá-los.” Para o mesmo autor, são inúmeros os estudos que podem ser considerados como pesquisa descritiva e uma de suas características mais significativas é o uso de técnicas padronizadas de coletas de dados e observação ordenada – sistêmica.

Nesse caso, a pesquisa descritiva realizada buscou abranger o levantamento de informações secundárias em artigos, livros, associações, entre outros, além do estudo de caso desenvolvido no Aeroporto Internacional de Recife – Gilberto Freyre. Vale lembrar que o estudo de caso se caracteriza por ter grande flexibilidade, sendo impossível estabelecer um roteiro rígido que determine com precisão como deverá ser desenvolvida a pesquisa. Tal procedimento consiste em uma espécie de histórico do fenômeno, extraído de múltiplas fontes de evidências, na qual qualquer fato relevante à série de eventos que descrevem o fenômeno é um dado potencial para o estudo de caso (GIL, 1999; YIN, 2005; MIGUEL, 2011).

De maneira geral, inicialmente e ao longo desse estudo será realizada uma revisão bibliográfica acerca dos assuntos mais relevantes e sobre as pesquisas dos diversos autores que contemplam essas abordagens com intuito de dar suporte científico para responder aos objetivos do trabalho. Posteriormente será realizada a etapa de coleta de dados com intuito de identificar afundo a problemática. A coleta foi concretizada por meio de entrevistas e visitas técnicas, e constantemente foi feita verificações técnicas em relação aos dados apontados. A constatação técnica teve como finalidade avaliar a coerência dos dados coletados, bem como dos resultados decorrentes da manipulação dos processos operacionais da pesquisa. Por meio da coleta de dados objetiva e subjetiva, bem como análise gerencial, buscou-se avaliar o modelo testado de acordo com as consequências das escolhas e análises da situação real empregada.

1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Esse estudo está dividido em seis seções. O capítulo inicial tem como objetivo demonstrar a parte introdutória do trabalho, ressaltando os principais objetivos, a metodologia que será empregada e a justificativa da dissertação.

Na seção 2 irá se trabalhar com a base conceitual do trabalhado. O estado da arte apresentada nessa seção visa fundamentar os principais conceitos utilizados dentro desse estudo.

A seção 3 refere-se a revisão bibliográfica desse estudo, ao qual objetiva apresentar uma análise de utilização de métodos de apoio à decisão e suas aplicações, planejamento e

estratégias da manutenção juntamente com os custos, bem como aplicações do DTM. Na seção 3.4 é apresentado os conceitos de conservação e restauração de pavimentos em pistas de pousos e decolagens e em aeroportos em geral.

No capítulo quatro desse estudo é exposto o modelo que caracteriza essa problemática, apresentando a metodologia empregada para aplicação do modelo envolvendo os conceitos de custos e de disponibilidade. Além disso, na seção 4.2 é apresentado o modelo proposto e como os critérios foram determinados.

Na seção 5 é apresentado o estudo de caso no qual o modelo proposto na seção 4.2 foi aplicado. Nesse capítulo, é realizado a caracterização do Aeroporto Internacional de Recife, a política de manutenção adotada pela a Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária que administra o aeroporto. Posteriormente, na seção 5.3 é realizada a tratativa dos dados objetivos e subjetivos, bem como análise dos mesmos. Foram realizados uma série de testes estatísticas para fundamentar os dados e distribuições considerados no modelo. Por fim, na seção 5.4 o modelo é aplicado e é exposto os resultados do custo esperado por inspeção, bem como a probabilidade de o sistema estar disponível. Na subseção 5.43 é apresentado a abordagem multicritério com aplicação do MAUT no modelo exposto.

Na seção 6 é apresentado as considerações finais sobre o trabalho e sugestões para trabalhos futuros. Na seção seguinte é exposto as referências bibliográficas utilizadas para fundamentar esse trabalho.

2 BASE CONCEITUAL

Essa seção tem como objetivo evidenciar os principais fundamentos teóricos acerca do estudo empregado nesse trabalho.

De modo que na seção 2.1 é realizada uma abordagem geral dos métodos multicritérios e processo decisório em geral. Na seção 2.2 é realizada uma fundamentação sobre o uso do conhecimento a priori do especialista, método utilizado para a coleta de dados subjetivos. Já 2.3 é abordado os principais aspectos e fundamentos da manutenção, tais como os tipos de sistemas existentes, os tipos de manutenção e sobre o planejamento geral da manutenção. Além disso, na seção 2.4 contempla-se os conceitos do *delay time modelling* por meio dos principais autores da área, política de inspeção foco desse estudo. Já a seção 2.5 trata dos conceitos de pavimentação asfáltica atrelado a classificação dos pavimentos, manutenção e inspeções.

2.1 MÉTODOS MULTICRITÉRIO DE APOIO À DECISÃO

Os métodos multicritério de apoio à decisão podem ser aplicados para diversas situações, apresentando-se com o objetivo de oferecer suporte e direcionamento ao decisor no desenvolvimento de um problema de decisão que tenha no mínimo duas alternativas de ação para escolher – problema multicritério. De acordo com de Almeida *et al.* (2015), existem diversos modos de se classificar métodos MCDM, isto é, podem ser classificados de acordo com o espaço de ações, podendo ser discreto ou contínuo, de maneira que ambos são de interesse para o tipo de problema de decisão analisado, seja esse no aspecto de risco, confiabilidade ou manutenção de sistemas.

Para de Almeida *et al.* (2015), os métodos multicritérios de caráter discreto empregam um enfoque diferente por não só buscarem um aspecto que engloba múltiplas dimensões dos problemas, mas por agrupar uma série de propriedades estritamente determinadas com base em sua metodologia.

Ao modelar um problema de decisão, segundo Roy (1996), é possível se deparar com diferentes problemáticas. Essas problemáticas podem ser de escolha, ordenação ou classificação. Esses problemas de decisão podem ser discretos por apresentarem um número finito de alternativas ou contínuo, quando apresenta um número infinitamente elevado de alternativas.

De acordo com de Almeida (2013), uma problemática é uma maneira de classificar o tipo de problema que será decidido por meio da melhor forma que o decisor julgue para se ter uma maneira comparativa sobre o conjunto de alternativas.

2.1.1 Processo decisório

A decisão pode ser classificada como complexa ou simples, específica ou estratégica, bem como pode ser tomada de forma racional ou irracional. Desse modo, sempre que houver um problema com mais de uma alternativa disponível para sua solução uma decisão deverá ser tomada. Por outro lado, as consequências dessa mesma decisão podem ser positivas ou negativas, seja a longo, médio ou curto prazo, de maneira imediata ou por meio de uma combinação entre elas (DE ALMEIDA, 2013; DE ALMEIDA *et al.*, 2015).

Para Zeleny (1994, p. 87), “a tomada de decisão é um esforço para tentar resolver problemas de objetivos conflitantes, cuja presença impede a existência da solução ótima e conduz à procura do melhor compromisso”.

Dentro dessa ótica, Hammond, Keeney e Raiffa (2004) destacaram que as tomadas de decisão são importantes ferramentas para criar e lidar com desafios, oportunidades, incertezas e perspectivas rotineiras. Portanto, saber tomar decisões é uma competência essencial para que organizações e pessoas se mantenham consistentes. Uma das opções para que as decisões sejam eficazes segundo os autores, é saber trabalhar com o problema certo, com objetivos definidos, criando alternativas por meio do pensamento, procurando entender as consequências, conferindo o que será negociado e decidido através do esclarecimento de incertezas, realizando uma análise rigorosa do quanto os riscos são tolerados e por fim, examinando o quanto cada decisão pode ser interligada.

Além disso, Hammond, Keeney e Raiffa (2004) ressaltaram que, a teoria da decisão pode ser vista como um conjunto de métodos e procedimentos que tem por objetivo realizar análises e garantir que haja uma consistência, eficácia e eficiência nas decisões tomadas com base na disponibilidade de informações, de acordo com os cenários que são possíveis. Sendo assim, o processo decisório pode ser finito e discreto, podendo conter um número de estágios de decisão infinito. O processo pode ser preciso ou impreciso, bem como determinístico ou não determinístico, estocástico ou possibilista.

2.1.2 Atores do processo decisório

A decisão é o ato de decidir considerando todas as circunstâncias e responsabilidade envolvida no processo. O resultado das organizações pode ser visto como uma totalização de escolhas ou decisões. Assim, quem decide exerce um papel fundamental dentro de qualquer organização. Por isso, de acordo com Roy (1996) e de Almeida (2013), dentro do processo decisório multicritério existem alguns atores que estão diretamente ligados a decisão, e outros que podem influenciar no processo dessa mesma decisão por meio do auxílio de informações ou através da criação de modelos acerca do problema que tenha que ser decidido. Desse modo, destaque esses atores como:

- Decisor: Quem decide. Pessoas que estabelecem suas preferências sobre um problema e que tem a responsabilidade das consequências envolvidas em tal decisão. Essa decisão pode impactar o futuro de uma organização, a competitividade e outros fatores associados. Esses decisores normalmente se apresentam como gerentes, coordenadores e executivos, podendo ser um decisor individual ou um grupo de decisores;
- Analista: Responsável por fornecer suporte com a metodologia do processo decisório, exercendo um papel amplo na criação e desenvolvimento de modelos. O analista também trabalha auxiliando o decisor a entender o problema e qual ação a tomar, isto é, é um facilitador que objetiva fazer com que o decisor tenha uma interação com os outros atores do processo decisório durante reuniões e outros encontros. O analista também pode fornecer informações financeiras ou outra informação dentro do seu escopo que sirva como amparo ao decisor em sua tomada de decisão;
- Cliente ou preposto: Responsável por assessorar o decisor ou até mesmo substituí-lo em alguma ausência, sendo considerado o indivíduo que exerce um papel intermediário entre o decisor e analista;
- Especialista: Tem um papel muito importante no processo decisório por ser o responsável em fornecer informações técnicas e factuais relacionadas ao problema que está sendo analisado para o decisor. O especialista é um profissional ou vários profissionais que conhecem as variáveis e estrutura sistemática do problema em questão. O conhecimento do especialista sobre um dado evento serve de parâmetros de decisão para inúmeras problemáticas. O especialista pode ser um supervisor, coordenador, gerente ou outro gestor de área, bem como um profissional altamente técnico, como um engenheiro ou técnico especialista;

- *Stakeholders*: São pessoas que buscam influenciar o tomador de decisões por meio de pressões ou outros mecanismos por representarem as pessoas que mais são afetadas com a decisão – investidores, donos de empresa, funcionários, etc.

2.2 O USO DO CONHECIMENTO A PRIORI DE ESPECIALISTAS

A diferença do termo probabilidade entre interpretações clássica, frequentista e subjetiva é que a probabilidade clássica se relaciona a cálculos que ponderam noções de simetria. Por exemplo, um dado com seis lados que não possui nada de específico pode ter sua probabilidade medida como 16,7% (1/6). Na estatística frequentista a probabilidade é conceituada como a dimensão da quantidade de vezes em que um evento ocorre em situações reais. Em outras palavras, a probabilidade frequentista se associa a repetição de um dado ensaio por inúmeras vezes, considerando que cada um desses ensaios seja avulso ou independente dos demais, e a partir disso, provoca uma relação entre a quantidade de vezes em que a situação de interesse ocorre e a quantidade de vezes em que o ensaio foi realizado. A probabilidade frequentista deriva da concepção de frequência relativa (ROBINSON, 2001), conforme segue:

$$Pr(S) = \lim_{n \rightarrow \infty} fr(S) = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{n_S}{n} \quad Eq. 2.1$$

Pr(S): Probabilidade de ocorrência do estado *S*;

fr(S): Frequência relativa de ocorrência do estado *S*;

n_S: Número de repetições do estado *S*;

n: Número de repetições do ensaio.

De tal modo, segundo Martz e Waller (1982), a probabilidade frequentista tem origem axiomática nas características de eventos e nas relações de sucesso desses mesmos eventos em uma série de repetidos ensaios ou experimentos e, ao mesmo tempo, têm inúmeros exemplos e aplicações advindas dos jogos de azar. Assim, os axiomas da probabilidade, especialmente a probabilidade de um evento ocorrer, são propostos pelo limite das relações de sucesso. Diante desse contexto, a probabilidade frequentista proporciona uma noção de que a probabilidade de ocorrência de um evento pode ser construída de maneira prática por meio da condução de uma quantidade suficientemente elevada de ensaios nos quais o evento pode ocorrer.

Contudo, conforme Ferreira (2001), o conceito de estatística frequentista nem sempre é aplicável devido a impraticabilidade de alguns eventos, aos quais não são passíveis de ter suas repetições observadas. Assim sendo, a experiência que um especialista capta sobre uma variável θ é usada sob o modelo de uma distribuição de probabilidade chamada de distribuição a priori

$\pi(\theta)$, correspondente a definição do conhecimento a priori do especialista sobre o estado da natureza representado pela referida variável.

2.2.1 Probabilidade subjetiva e inferência bayesiana

A probabilidade subjetiva além de lidar com eventos, também trata de proposições. Proposições consistem em coleções de eventos que não pode ter a mesma interpretação da probabilidade frequentista, que interpreta uma série de repetições de um mesmo ensaio. A probabilidade subjetiva relaciona-se com o que determinado indivíduo acredita sobre a probabilidade de ocorrência de um evento (MARTZ; WALLER, 1982).

Dessa maneira, o conhecimento a priori é apresentado por meio da probabilidade a priori, chamada de probabilidade subjetiva $\pi(\theta)$, de modo que θ representa o estado da natureza. Em outras palavras, a probabilidade subjetiva expressa o nível de crença que uma pessoa pode ter em relação a chance de ocorrer determinado evento. Portanto, é importante lembrar que não existe uma probabilidade correta ou errada, mas sim uma probabilidade que uma pessoa atribui para um evento. Por exemplo, a probabilidade que um indivíduo acredita ser o tempo de chegada até a sua casa, ou seja, determinado indivíduo acredita que tem 50% de chance de ele percorrer o caminho do trabalho até a sua casa em 15 minutos em condições normais, 80% de gastar 26 minutos para percorrer o mesmo trajeto em dias de chuva e assim por diante. Nesse caso, não existe uma medida certa e sim uma estimativa baseada em seu conhecimento em relação a esse evento, baseado em experiências vividas e conhecimento técnico (ROBINSON, 2001).

De acordo com Martz e Waller (1982), a probabilidade subjetiva diz respeito ao grau de crença em uma suposição. Sendo assim, observando um extremo, acredita-se que o evento A seja verdadeiro, $Pr(A) = 1$, então, no outro extremo, se é acreditado que A é falso, $Pr(A) = 0$, logo, os pontos no intervalo $(0,1)$ apresentam crenças intermediárias entre o que se acredita ser verdadeiro e falso. Ao mesmo tempo, segundo os autores, a diferença entre a probabilidade frequentista e a subjetiva é que a frequentista não lida com proposições ou hipóteses e nem faz diferenças pessoais como a subjetiva; e a probabilidade subjetiva não é capaz de realizar verificações experimentais como a estatística frequentista. Fora isso, ambas probabilidades tem um significado no mundo real, lidam com eventos, fundamentam-se em teorias axiomáticas e quantificam numericamente.

A utilização do conhecimento a priori foi desenvolvido na inferência bayesiana, contudo ressalta-se que a subjetividade não é uma particularidade dessa inferência. Um investigador,

por exemplo, nem sempre estará certo sobre a real natureza de um procedimento que gera eventos observáveis baseado em hipóteses, por isso, sempre haverá algum questionamento sobre a legitimidade dessas hipóteses levantadas. Assim, a subjetividade está presente em análises estatísticas em quase sua totalidade e pode ser considerada uma arte assim como é a ciência. A partir dessa vertente, a metodologia de inferência bayesiana começa com um método demandado de amostragem que seja adequado para ser considerado de maneira experimental. De tal modo, uma distribuição de probabilidade a priori também é demandado para o parâmetro incógnito no método de amostragem adotado para o qual a inferência bayesiana é almejada. Por isso, a amostra de dados e a distribuição a priori são tratados pelo uso do Teorema de Bayes. A partir disso, usa-se o raciocínio dedutivo atrelado com a distribuição a posteriori resultante para gerar a inferência almejada sobre o parâmetro do modelo de amostragem adotado (MARTZ; WALLER, 1982).

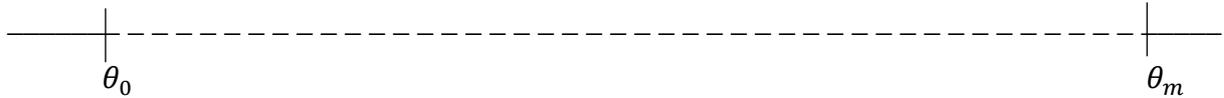
Desse modo, segundo Smith (1988), observa-se que o enfoque bayesiano se adequa a situações em que incertezas existem em relação ao comportamento de um parâmetro. Nesse caso, então, é possível, por meio de um processo de elicitación, obter o conhecimento a priori do especialista sobre esse mesmo parâmetro. Essa probabilidade a priori é expressa por $\pi(\theta)$ e relaciona-se com o grau de crença do especialista sobre dado evento, conforme já expresso. Portanto, a probabilidade nesse caso não é necessariamente correta, mas sim a probabilidade em que se acredita para um dado evento.

2.2.2 Elicitación do conhecimento a priori de especialistas

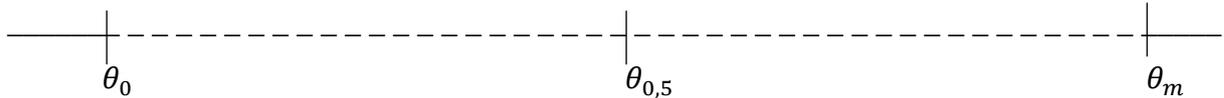
Essa pesquisa irá conter um estudo de caso baseado em manutenções de pavimentos asfálticos no Aeroporto Internacional de Recife e em uma das suas partes, irá se integrar do uso do conhecimento a priori de um especialista na área estudada. O método utilizado para isso é o dos intervalos equiprováveis para a elicitación do conhecimento a priori do especialista e se baseia na análise de percentis, através de subdivisões consecutivas desses intervalos. Para isso, se faz necessário realizar a coleta desses dados subjetivos por meio de conversa, entrevista ou mesmo questionário como auxílio, conforme o procedimento e passo a passo proposto por Raiffa (1968):

1. Apresentar o processo ao especialista de maneira ampla e lembrá-lo para o fato de que o objetivo da coleta de dados subjetivos consiste em estimar o valor mais provável para θ e não o seu valor real;

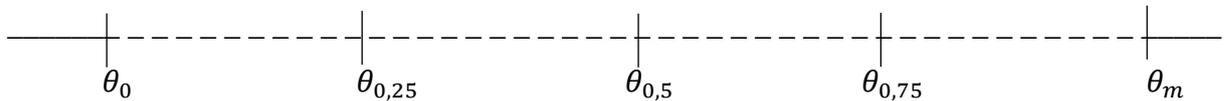
2. Inserir uma faixa dos possíveis valores de θ , considerando um valor mínimo como θ_0 e o valor máximo como θ_m :



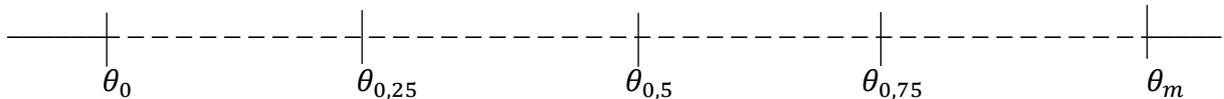
3. Começar a subdivisão em intervalos equiprováveis, alcançando de início o valor de $\theta_{0,5}$, para qual represente $F(\theta_{0,5})=0,5$;



4. Realizar uma divisão de $\theta_0 - \theta_{0,5}$, obtendo $\theta_{0,25}$, para $F(\theta_{0,25}) = 0,25$; e dividir de $\theta_{0,5} - \theta_m$, obtendo $\theta_{0,75}$, para $F(\theta_{0,75}) = 0,75$;



5. Realizar um teste de consistência com o especialista, questionando-o sobre a probabilidade que ele acredita ser mais provável de acontecer entre $\theta_0 - \theta_{0,75}$;



6. Analisar as respostas possíveis, podendo existir somente três respostas possíveis: dentro, fora ou indiferente. A terceira resposta será a correta, pois se houver coerência nos valores, a probabilidade de estar dentro ou fora será de 0,5. Quando houver respostas inconsistentes, os valores devem ser reavaliados com o especialista;

7. Reproduzir o processo para obter outras probabilidades ($\theta_{0,125}, \theta_{0,375}, \theta_{0,625}, \theta_{0,875}$). Por fim, obter uma relação com os consequentes percentis:

Tabela 2.1: Probabilidades subjetivas

θ	F(θ)
$\theta_{0,01}$	0,010
$\theta_{0,125}$	0,125
$\theta_{0,25}$	0,250
$\theta_{0,375}$	0,375
$\theta_{0,5}$	0,500
$\theta_{0,625}$	0,625
$\theta_{0,75}$	0,750
$\theta_{0,875}$	0,875

$\theta_{0,99}$	0,990
-----------------	-------

Fonte: Esta pesquisa (2016) com base no conhecimento a priori de especialista.

Após a obtenção dos dados, inicia-se uma avaliação estatística com o objetivo de ajuste dos pontos a uma distribuição de probabilidade. Nesse estudo foi utilizado somente o conhecimento a priori de especialistas, mas na literatura existe uma série de outras metodologias para elicitación do conhecimento a priori considerando cuidados em questões de percepções para aplicação dos resultados obtidos (SMITH, 1988).

2.3 MANUTENÇÃO

A manutenção pode ser definida como a “combinação de todas as ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida” (ABNT - NBR 5462, p. 4, 1994). Para Nakagawa (2005), foram os diversos desastres e instabilidades ocorridas no passado que influenciaram para que a manutenção pudesse ser valorizada pelas empresas ao longo dos anos. Desde então, essa importância tem sido crescente e a manutenção vista de maneira estratégica.

A partir desse contexto, observa-se que organizações em geral buscam competir no mercado ao qual estão inseridas com base em determinadas premissas de concorrência, tais como custo, confiabilidade, velocidade, flexibilidade, qualidade e outras particularidades que dependem da real capacidade da organização. Assim, as estratégias de manutenção vêm sendo vistas continuamente como parte integrante dessa competição, podendo ter influência direta ou indireta na estratégia do negócio (PINJALA; PINTELON; VEREECKE, 2006).

Para Murthy, Karim e Ahmadi (2015, p. 2), “a manutenção é uma combinação de ações técnicas, administrativas e gerenciais realizadas durante a vida de um objeto”. Portanto, desenvolver uma equipe de manutenção dinâmica e eficiente demanda uma gestão apropriada, que saiba levantar os principais dados, analisá-los e os utilizar como modelo para a tomada de decisão.

2.3.1 Sistemas de manutenção

De acordo com de Almeida e Souza (2001), o ofício básico da manutenção está ligado ao funcionamento de um sistema que está submetido a características probabilísticas de desempenho. Por isso, é fundamental que os principais elementos sejam compreendidos.

Todos os sistemas utilizados estão sujeitos a degradação devido a forma que é utilizado ou por término de sua vida útil. Um sistema de manutenção pode ser do tipo reparável e do tipo não reparável. Os sistemas reparáveis ou também chamados de sistemas mantidos são aqueles em que ao apresentarem falhas podem sofrer reparos com intuito de restaurar as condições originais de operação. Nesse modelo, o custo da substituição é maior do que o de conserto. Já os sistemas do tipo não reparáveis são aqueles que não são repostos e nem recuperados depois da ocorrência de uma falha. São itens que ao se encontrarem pela primeira vez em estado falho devem ser descartados devido ao custo de reparação ser maior do que o custo da substituição. Destaca-se, por exemplo, o caso de uma lâmpada que após queimada acaba sendo substituída devido aos custos de reparo serem maiores do que o de troca por unidade nova, constituindo assim um sistema não reparável que não retornará o sistema a uma condição de origem (RIGDON; BASU, 2000).

É importante ressaltar que para cada tipo de sistema há uma associação de diferentes tipos de variáveis aleatórias. Essas variáveis de acordo com de Almeida e Souza (2001) e Cavalcante (2011) podem ser representadas desse modo:

TTF – time do failure: É o tempo até que haja uma falha. Relaciona-se aos sistemas não reparáveis devido o foco ser estritamente no tempo até que a primeira falha aconteça;

TBF – time between failure: É o tempo entre falhas e é uma variável que indica que ao existirem várias falhas estará ligada aos sistemas reparáveis. Ressalta-se que o tempo médio entre falhas é dito como *MTBF – mean time to repair*.

TTR – time to repair: É o tempo de gasto para reparo e se aplica somente na existência de reparos a serem feitos. O tempo médio para reparo é o *MTTR – mean time to repair*.

2.3.1.1 Modos de falha

A falha pode ser definida, de acordo com Babiarz e Chudy-Laskowska (2015, p. 386), como “perda parcial ou total das propriedades do sistema técnico, que podem diminuir significativamente a sua eficácia, ou mesmo levar ao seu desaparecimento completo. “ Portanto, a falha é uma consequência de uma série de fatores aleatórios, independentemente do tamanho da escala.

As falhas podem se apresentar de modo precoce, por casualidade ou por desgaste. A falha precoce ocorre no começo da vida útil do equipamento e advém de algum problema de fabricação. A falha casual é aquela que ocorre durante a vida útil do equipamento de maneira imprevista em um intervalo de tempo irregular. Já a falha por desgaste acontece no final da vida

útil do equipamento ou componente devido a deterioração ou redução das características originais dos mesmos (SCAPIN, 2013).

De maneira sucinta, para Lafraia (2014), as falhas podem ser compreendidas como a perda de uma função de toda e qualquer atividade desempenhada sob a ótica operacional. Já os modos de falha são considerados uma representação da junção dos efeitos ao quais uma falha pode ser observada.

2.3.1.2 Defeito

O defeito é configurado de acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas como qualquer desvio das características de um item em relação aos seus requisitos de origem (ABNT - NBR 5462, 1994).

De tal modo, segundo Lafraia (2014), o defeito é uma representação de não conformidade em relação as características iniciais demandadas ou anunciadas.

2.3.1.3 Confiabilidade

A confiabilidade é determinada como a “probabilidade de que um componente, equipamento ou sistema exercerá sua função sem falhas, por um período de tempo previsto, sob condições de operação especificadas” (LAFRAIA, 2014, p. 23).

A confiabilidade, segundo Cavalcante (2011), é expressa por $R(t)$ e está constantemente sendo associada com confiança, segurança, ausência de riscos ou durabilidade. Em termos matemáticos é vista como uma apreciação probabilística que apresenta uma relação com variáveis aleatórias no instante T e ao mesmo tempo, com mecanismos de falha. Assim, a confiabilidade pode ser expressa, em termos de distribuição exponencial, como:

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad \text{Eq. 2.2}$$

Onde:

$R(t)$: Confiabilidade em qualquer tempo t ;

$e = 2,718$ (e : base dos logaritmos neperianos);

λ = taxa de falhas;

t = tempo previsto de operação.

Do mesmo modo, de Almeida e Souza (2001) também expressaram que o termo confiabilidade está associado a probabilidade, de modo que a definiu como a possibilidade de que determinado equipamento ou instalação não pare de desempenhar sua função requerida em um intervalo de tempo t esperado. Por isso, a quantidade de vezes em que as falhas acontecem servem como parâmetros para formular matematicamente a confiabilidade.

2.3.1.4 *Mantenabilidade*

Representa toda estrutura de uma organização, compreendendo equipes de manutenção onde devem estar comprometidas em atender todo o estado de falhas dos equipamentos. Isto é, é capacidade ou clareza com que se consegue realizar o reparo ou a manutenção de um item. De tal modo, de acordo com de Almeida e Souza (2001), a mantenabilidade de um item que esteja no tempo t ou $M(t)$, é determinada como a probabilidade de que esse mesmo item seja restaurado para sua condição inicial de desempenho dentro do tempo T , de acordo com processos pré-determinados. Assim, na equação, tem-se que:

$$M(TTR) = Pr \{T \leq TTR\} \quad \text{Eq. 2.3}$$

Sendo T o tempo real para a realização do reparo e TTR o tempo para reparo.

Em síntese, segundo Blanchard, Verma e Peterson (1995), a mantenabilidade é a probabilidade de que um item seja restaurado a uma classe estabelecida, dentro de um intervalo de tempo ao qual foi condicionado.

2.3.1.5 *Disponibilidade*

A disponibilidade, segundo de Almeida e Souza (2001), é proveniente de uma integração entre confiabilidade e mantenabilidade. Assim, haverá maior disponibilidade quando a confiabilidade for elevada e se o sistema for capaz de reparado de forma acelerada (mantenabilidade), quando houver ocorrências de falhas. Desse modo, a disponibilidade $A(t)$ é conceituada como a probabilidade de que um item permaneça disponível para utilização no momento requerido do tempo t . A disponibilidade pode ser calculada por meio de inúmeras formas matemáticas, a variação irá depender de cada caso especificamente. Deste modo, quando a confiabilidade e mantenabilidade seguem uma distribuição exponencial é possível calcular a disponibilidade de acordo com a equação abaixo:

$$A(t) = \frac{\lambda^{-1}}{\lambda^{-1} + \mu^{-1}} \quad \text{Eq. 2.4}$$

Sendo:

λ^{-1} = MTBF – Tempo médio entre falhas (taxa de falhas);

μ^{-1} = MTTR – Tempo médio para reparos (taxa de reparo).

Diante dessas premissas, Cavalcante (2011) afirma que a disponibilidade consiste em uma propriedade dedicada a sistema reparáveis, especificando o conhecimento do desempenho de um item. Além disso, ressalta-se que o MTBF e o MTTR são indicadores importantes ao se medir a

disponibilidade de um sistema reparável. O MTBF geralmente é expresso em horas e quanto mais elevado ele for, pode se dizer que maior será a confiabilidade do sistema. Por outro lado, o MTTR sugere que quanto menor for o tempo de reparo de um sistema, menor será o tempo de indisponibilidade do sistema, isto é, indica a quantidade de horas que um sistema ficou parado devido a falhas ou o número de falhas ocorridas no mesmo.

2.3.2 Tipos de manutenção

A manutenção pode ser classificada como perfeita e imperfeita. De modo que, na manutenção perfeita o estado do equipamento fica tão bom quanto novo, ou seja, a troca ou reparo deixa o estado do equipamento tão bom quanto era enquanto novo. Por outro lado, a manutenção imperfeita é a intermediária entre a manutenção tão boa quanto nova (manutenção perfeita) e tão ruim quanto antes, isto é, a manutenção é realizada, mas o equipamento continua apresentando as mesmas características de desempenho que antes da realização da manutenção. Dentro dessas classificações destacam os tipos de manutenção mais desempenhadas, tais como manutenção corretiva, preventiva e preditiva.

2.3.2.1 *Manutenção preventiva*

A manutenção do tipo preventiva visa reduzir ou impedir a probabilidade de que falhas ocorram através de ações para controlar os processos de degradação. Essa manutenção é realizada, de acordo com critérios prescritos, em intervalos predeterminados. Executar uma manutenção preventivamente significa intervir antes que o equipamento exiba algum tipo de estado de falha que evite seu funcionamento adequado baseado em estatísticas do processo, experiência e especificação técnica do equipamento ou outro tipo de avaliação (SWANSON, 2001).

De maneira geral, a manutenção preventiva trata-se de uma junção de atividades que tem por objetivo aprimorar a confiabilidade e disponibilidade de um sistema. A manutenção preventiva também implica na relação de compensação entre perdas e ganhos dentre os custos básicos das atividades de manutenção ou substituição de equipamentos e as economias de escala efetivadas por meio da redução da taxa global de ocorrência de falhas em um sistema (EBRAHIMPOUR; NAJJARBASHI; SHEIKHALISHAHI, 2015).

Segundo Zwingelstein (1999), uma política de manutenção preventiva eficiente deve ser focada em componentes pelo os quais os modos de falha terão consequências significantes sobre as operações, segurança, qualidade e custos de manutenção.

2.3.2.2 *Manutenção preditiva*

A manutenção preditiva monitora as principais variáveis dos dispositivos, indicando a necessidade de atuação ou não, obedecendo a uma sistemática de planejamento. A manutenção preditiva objetiva minimizar níveis de manutenção preventiva e corretiva por meio da incorporação várias técnicas que monitoram as condições dos equipamentos com a finalidade de estabelecer parâmetros confiáveis para a avaliação do estado efetivo desses equipamentos. Segundo Nepomuceno (2014), existem uma série de tecnologias de diagnóstico preditivo, tais como análise de vibrações, inspeção visual, tribologia, radiações ionizantes, energia eletromagnética, energia acústica, radiografia, termográfica, ferrografia, espectrometria e outras técnicas de análise não destrutivas que acabam gerando ações importantes na identificação de sintomas que direcionam a incidência de defeitos ou falhas.

2.3.2.3 *Manutenção corretiva*

A manutenção corretiva é aquela que ocorre quando um sistema se encontra em estado falho (WANG, 2000). A manutenção do tipo corretiva, segundo Murthy, Karim e Ahmadi (2015), é o recurso final de recuperação do equipamento, pois incide após as falhas ocorrerem com intuito de restaurar um componente que tenha tido falha para um estado operacional específico, submergindo ao conserto ou a substituição de tal componente. A manutenção corretiva pode se apresentar também como corretiva planejada, pois objetiva executar uma ação de reparo indicada pelo o acompanhamento da manutenção preditiva ou preventiva.

2.4 DELAY TIME MODELLING

O *delay time modelling* (DTM) é instrumento de modelagem criado para atender problemas de manutenção vinculados a inspeção e planejamento de intervenções de manutenção. O DTM foi criado por Christer em 1976 e utilizado pela primeira vez em um contexto de manutenção predial, passando a ser aplicado em um problema envolvendo manutenção industrial por Christer e Waller (1984a). O conceito criado por Christer fornece uma aplicação estrutural de modelagem para uma série de problemas reais de manutenção industrial, sobretudo para inspeções.

Segundo Wang (1997), o DTM define que um sistema pode se encontrar em três estados e a falha se dá por duas etapas. A primeira consiste no intervalo entre o estado operacional de um equipamento até o ponto em que um defeito que esteja oculto seja identificado. A segunda etapa no DTM ocorre quando no ponto em que há a identificação de defeitos até a ocorrência

da eventual falha. Sendo assim, o DTM visa proporcionar a oportunidade para a manutenção preventiva com objetivo de remover ou ajustar os defeitos identificados antes da ocorrência de falhas.

De tal modo, Wang (2008) demonstrou que de início se espera que o defeito possa ser identificado por meio da inspeção, assim o ponto inicial do defeito é configurado como u , e o tempo que decorre para falha de u (defeito) configura-se como delay time h do defeito, conforme pode ser observado na figura abaixo:

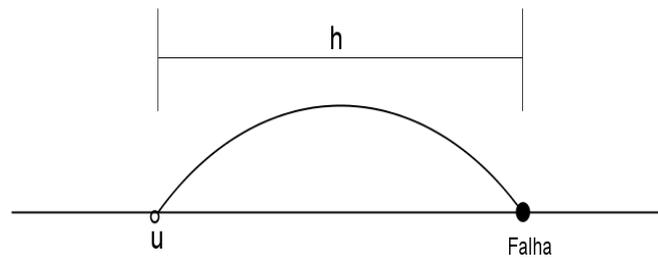


Figura 2.1: Delay Time de um defeito

Fonte: Adaptado de Jia e Christer (1999) e Wang (2008).

A partir desse contexto, Dekker e Scarf (1998) complementaram dizendo que o DTM centraliza na frequência das inspeções em que o estágio inicial das falhas (chamado de defeitos) pode ser observado. Ou seja, *delay time* consiste no tempo que decorre entre o primeiro momento em que um defeito pode ser observado e a eventual falha. Assim, assume-se que as ações de manutenção corretiva sobre um defeito são menos trabalhosas e custosas do que as em cima de uma falha. Portanto, se uma inspeção tivesse sido executada em h , a presença de um defeito poderia ter sido observada e ação corretiva aplicada antes da falha.

Para que os conceitos de *delay time modelling* juntamente com a figura 2.1 sejam compreendidos em sua totalidade, ressalta-se um estudo de caso realizado por Dekker e Scarf (1998) em relação ao rastreamento do câncer. De modo que, observa-se que um câncer em estado inicial corresponde, por exemplo, a um defeito de uma máquina ou uma descontinuidade em um pavimento. Ou seja, os principais requisitos para a eficácia do rastreamento ou inspeção é que deve haver algum pré-estágio observável da doença (que não deixa de ser um defeito), e o tratamento, se fosse observado no pré-estágio com certeza seria mais bem-sucedido do que quando a doença já se manifestou. Isto é, o custo e outros fatores envolvidos associado com a descoberta da doença no estágio inicial deve ser muito menor do que aquele associado com a manifestação da doença. Isso é o mesmo que acontece com uma pavimentação ou uma máquina.

Em outra vertente exposta por Jones, Jenkinson e Wang (2009), nota-se que quando a função de distribuição de probabilidade do DTM $f(h)$ segue uma distribuição exponencial, a taxa de falha λ é constante. Sendo que a probabilidade de um defeito vir acarretar uma falha $b(t)$ pode ser expresso como:

$$b(T) = \int_0^T \left(\frac{T-h}{T} \right) f(h) dh \quad \text{Eq. 2.5}$$

E o tempo de inatividade do equipamento devido a inspeção $D(t)$ – Downtime expresso como:

$$D(T) = \frac{d + k_f T b(T) d_b}{T + d} \quad \text{Eq. 2.6}$$

Assim, configura-se d como o tempo de inatividade devido à inspeção; k_f a taxa de chegada de defeitos por unidade de tempo; $b(T)$ a probabilidade de um defeito vir a falhar; d_b o tempo de inatividade média para uma reparação de perdas; e T o período de inspeção. Os autores ainda apresentaram que o custo esperado $C(T)$ por unidade de tempo proveniente da manutenção é dado segundo a equação abaixo:

$$C(T) = \frac{[k_f T \{c_f b(T) + c_p [1 - b(T)]\} + C_I]}{T + d} \quad \text{Eq. 2.7}$$

Onde c_f é custo de reparação da falha, c_p custo de prevenção e c_I custo de inspeção. E o custo do Downtime (tempo de inatividade) como:

$$C(T) = \frac{[k_f T C_f b(T) + C_I]}{T + d} \quad \text{Eq. 2.8}$$

Partindo para o contexto da coleta de dados, um dos passos mais importantes para criação de um modelo, Pillay, Wang e Wall (2001) assinalaram que existem situações em que os dados coletados em alguns serviços de manutenção não são suficientes para a validação de modelo. Assim, fica configurado a necessidade e importância da coleta de dados ser assertiva juntamente com algumas propriedades chave do equipamento ou sistema inquirido, de modo que atenda aos pré-requisitos do modelo. Desse modo, os dados essenciais para a validação do modelo delay time são: downtime (tempo de inatividade), média devido à inspeção, downtime médio para uma manutenção corretiva, taxa de chegada de defeitos por unidade de tempo, taxa de falha e período entre inspeções.

2.5 PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA

O Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, órgão responsável pela manutenção, recuperação e construção de vias de transportes interurbanos, podendo ser de caráter federal ou estadual, define pavimentação como “uma estrutura constituída por camadas sobrepostas, construídas sobre a terraplanagem, que possuem espessuras e materiais determinados por um dos inúmeros métodos de dimensionamento e que exercem a função de fundação”. O pavimento é a superestrutura de rodovias, aeroportos, pátios e via urbanas. A pavimentação asfáltica tem como função oferecer resistência e distribuir de modo conveniente as solicitações de carga e esforços de carga vindas do tráfego para as camadas do subleito, resistir a desgaste tornando durável a superfície de rolamento, oferecer condições melhores de trânsito e segurança, bem como resistir a condições climáticas, protegendo as superfícies inferiores da ação da água. Ou seja, os principais requisitos da pavimentação é a resistência contra água, chuva e sol para garantir estabilidade e resistência a forças verticais, horizontais, frenagem e aceleração para garantir durabilidade (DNIT, 2006b).

De acordo com Croney (1977), a construção de pavimentos se torna necessário porque a estrutura do solo natural nem sempre é satisfatoriamente resistente para suportar a repetição de cargas de roda sem sofrer deformações significativas. Assim, a estrutura do pavimento é construída sobre o subleito para suportar as cargas dos veículos de forma a espalhar toda essa demanda às suas diversas camadas e ao subleito, restringindo as tensões e as modificações de maneira que garanta um desempenho apropriado da via, por um longo período de tempo.

Desse modo, o dimensionamento estrutural consiste na constituição da pavimentação, de maneira que tenha capacidade de resistir aos efeitos deteriorantes das cargas do tráfego. Assim, o objetivo de dimensionar estruturalmente os pavimentos deve-se a necessidade de definição das espessuras das camadas, pelo fato de ser um suporte a tomada de decisão em relação ao tipo de pavimento a ser utilizado, para determinar os materiais que deverão ser inseridos na preparação, bem como objetiva criar especificações técnicas dos materiais e superfícies que englobam a estrutura. Desse modo, ressalta-se que o dimensionamento das pavimentações asfálticas dependem das características das cargas que irão trafegar, as propriedades das condições climáticas do local pavimentado, a condição do pavimento em relação a drenagem e o grau de compactação do solo que será pavimentado, ou seja, quanto maior o nível de compactação do subleito (solo natural – local de alicerce do pavimento), maior será a resistência do mesmo em relação a deformação. Solos granulares e argilosos apresentam maior grau de

compactação. Assim, a seleção dos equipamentos adequados para aplicação de acordo com o tipo de solo e espessura da superfície irá fazer com que o solo tenha uma compactação apropriada. Sendo assim, observa-se que o grau do serviço de manutenção desempenhado na pavimentação influenciará diretamente em seu comportamento a curto, médio ou longo prazo (DNIT, 2006b).

2.5.1 Classificação dos pavimentos

Conforme o DNIT (2006a), um concreto asfáltico é composto por agregado graúdo (pedra britada, escória, seixo britado ou outro material especificado), agregado miúdo (areia e pó de pedra ou a mistura de ambos), material de enchimento (cimento Portland, cal extinta, pós-calcário, cinza volante, entre outros) e ligante asfáltico. Os cimentos asfálticos devem ser do tipo CAP-30/45, CAP-50/70 e CAP-85/100. Já os pavimentos asfálticos podem ser classificados como flexíveis, semirrígidos ou rígidos:

- Pavimento flexível: São estruturas de concreto asfáltico constituídas de uma mistura que é aplicada a quente (acima de 10° C), com características específicas, composta de agregado graduado, cimento asfáltico e se necessário, filer (material de enchimento). Toda essa mistura é aplicada e compactada a quente. O concreto asfáltico pode ser utilizado como piso, base, como binder (camada de ligação), como preenchimento de alguma camada ou reforço do pavimento, sendo que sua aplicação só deve ocorrer obrigatoriamente com condições climáticas favoráveis, sem a ocorrência de chuva. De forma sucinta, define-se pavimento flexível como aquele que mesmo sofrendo algumas deformações, até certo limite, não levam ao rompimento total. Apresenta como vantagem um custo inicial reduzido, adaptação rápida sob ação de cargas e manutenção executada de maneira rápida (DNIT, 2006a).

- Pavimento semirrígido: É caracterizado por ter uma base cimentada por algum aglutinante com propriedades cimenteira. Ou seja, pode ser constituído por uma camada de solo de cimento revestido por uma camada asfáltica (DNIT, 2006b).

- Pavimento rígido: Revestimento que tem uma rigidez alta em comparativo com as superfícies inferiores, tendo capacidade para absorver a maior parte ou todas das tensões provenientes do carregamento aplicado. Esse tipo de pavimento é composto por blocos de concreto de cimento Portland. É importante destacar que no Brasil existe uma série de pavimentos rígidos, a variação acaba sendo em função do tipo de material utilizado e da base estrutural. Assim, os pavimentos rígidos podem ser do tipo whitetopping, de concreto simples,

convencional ou rolado, com fibras de aço ou de poliprolileno, com armação simples de retração, de sobre laje em tabuleiros de obras de arte especiais, com peças pré-moldadas ou estruturalmente armado, com armação dupla. Ressalta-se também que esse tipo de pavimento é pouco deformável e pode atender a uma demanda de 20 a 40 anos com baixa ou nenhuma indigência de manutenção (DNIT, 2003a).

É importante destacar também que existem uma série de tipos de defeitos que a NBR considera no cálculo de indicador de qualidade da superfície do pavimento. Esses defeitos, de acordo com o Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes (2003a), são:

- Buraco ou panela: É o defeito causado pelo surgimento de uma cavidade na massa asfáltica, podendo ou não atingir outras camadas abaixo. As principais causas desse defeito resultam na deficiência de compactação do solo, umidade em excesso ou por falha de dosagem ao fazer o revestimento asfáltico;
- Fendas: São aberturas na superfície asfáltica. São classificadas como fissuras quando a abertura pode ser vista a olho nu com a distância inferior a 1,5 m; e como trincas, quando essas aberturas podem ser vistas em distâncias maiores. Também podem ser classificadas pela gravidade, de 3 a 9 classes dependendo do tipo. Essas aberturas são causadas pelo tipo de defeito, pelo sobrepeso de cargas, por ação climática e pelo excesso de rigidez do revestimento;
- Afundamentos: É resultado de constantes deformações, seja da massa asfáltica ou das suas camadas subjacentes. Essas deformações são causadas pelas falhas de compactação, problemas de drenagem, por deficiências na construção do revestimento, entre outras;
- Ondulações transversais ou corrugação: É o defeito que cria alterações transversais no eixo da pista, causando depressões ou elevações. Nas corrugações esses defeitos podem ser de centímetros ou em metros, quando se trata de ondulações;
- Remendos: Mesmo que o remendo seja visto como uma ação de conservação da superfície asfáltica, o mesmo é caracterizado como um defeito que objetiva preencher buracos, panelas, depressões e outras utilizando massa asfáltica;
- Exsudação: Ligante utilizado de maneira exagerada no pavimento, causando o aparecimento de manchas escuras. Esse defeito é causado pela falha de dosagem na massa asfáltica;
- Desgaste ou desagregação: Desprendimento de concreto da superfície asfáltica, tendo como principal causa a escolha deficiente de agregados ou falha de dosagem do objeto ligante.

2.5.2 Manutenção e Inspeções em Pavimentos Asfálticos

De acordo com Bernucci *et al.* (2010), a finalidade essencial da pavimentação é viabilizar a trafegabilidade durante todo o ano, independente das condições climáticas, bem como oferecer aos utentes segurança e comodidade. Contudo, por melhor que tenha sido o projeto e a execução, qualquer obra da pavimentação asfáltica está sujeita a defeitos e falhas, e a manutenção adequada influencia diretamente no estado de conservação da mesma.

Para Quadros (2004), o tráfego de veículos leves e pesados, os fatores climáticos e sobretudo a dificuldade de conservação do estado dos pavimentos de acordo com os requisitos técnicos, faz com que cada vez mais cresça a necessidade de realização de manutenções periódicas nas vias.

A partir desse contexto, ressalta-se que qualquer inspeção em pavimentações deve ter início com a realização de uma rápida coleta de dados e posteriormente com a averiguação da existência de descontinuidades. Esse processo deve ocorrer da seguinte maneira: coletar dados verificando a idade e a espécie do pavimento, coletando informações sobre o volume tráfego e cargas por eixo; inspecionar o estado geral do pavimento, isto é, quantidade e gravidade das descontinuidades; mapear o quadro fissuratório longitudinal e transversal; examinar também o estado do pavimento nos extremos e próximo as eventuais juntas de dilatação; constatar se existe descontinuidades na laje estrutural e comparar com as descontinuidades do pavimento; e verificar se há ou não infiltrações e eflorescências. Antes de realizar qualquer monitoramento do pavimento, existe algumas alternativas a considerar na manutenção, tais como adiar a intervenção, recuperar logo o pavimento, demoli-lo ou reconstituí-lo (DNIT, 2006c).

O DNIT (2003b) utiliza um método chamado de valor de serventia atual (VSA) para avaliar a funcionalidade dos pavimentos atrelado a análise da superfície dos pavimentos, bem como para analisar como o estado do pavimento impacta e influência o estado do conforto da trafegabilidade. O nível de serventia é atribuído numericamente em uma escala de 0 a 5, conforme a média dos avaliadores em relação ao conforto ao rolamento de um veículo trafegando em um determinado trecho, com base em um dado momento da vida do pavimento.

Tabela 2.2: Níveis de serventia de conforto ao rolamento do pavimento

Padrão de avaliação	Faixa de avaliação
Excelente	4 a 5
Bom	3 a 4
Regular	2 a 3
Ruim	1 a 2
Péssimo	0 a 1

Fonte: Adaptado de DNIT (2003b) e Bernucci *et al.* (2010).

O valor de serventia atual é uma avaliação subjetiva e depende muito do conhecimento e técnica de inspeção do avaliador. Essa avaliação é realizada logo após a construção do pavimento, sendo que o VSA de nota 5 compreende um pavimento sem qualquer irregularidade, ou seja, no Brasil é praticamente não encontrado na prática. Contudo, com o aprimoramento das técnicas construtivas, é possível obter no pavimento de concreto de cimento Portland valores iniciais próximos da nota 5, isto é, com um padrão considerado de excelência. É importante ressaltar que o VSA do pavimento é reduzido com o tempo devido ao tráfego e as condições climáticas (BERNUCCI *et al.*, 2010).

Bermucci *et al.* (2010), complementaram ainda que sempre que o VSA atinge a faixa de condição regular (nota de 2 ou 3) uma operação de manutenção corretiva deve ser realizada para repor o indicador a um valor superior. Do mesmo modo, quando o VSA atinge valores acima de 3 deve ser realizado manutenções preventivas de tempos em tempos com objetivo de aumentar o tempo de vida útil em que o pavimento permanece em condição aceitável de trafegabilidade. Portanto, caso essas intervenções corretivas ou manutenções preventivas não sejam adequadas poderá impactar o limite trafegabilidade, isto é, limite ao qual se faz necessário a reconstrução da pavimentação asfáltica. Observa-se que este limite depende do tipo de piso asfáltico, da espessura projetada e da qualidade de execução.

Além do VSA, as anomalias podem ser levantadas por meio da medição topográfica ou por equipamentos medidores do perfil longitudinal com ou sem contato, ou ainda indiretamente avaliada por equipamentos do tipo resposta, que fornecem um somatório de desvios do eixo de um veículo em relação à suspensão. A avaliação de serventia atual é considerada como uma avaliação de classe IV. A avaliação de classe I é direta e compreende aquela que é realizada por equipamentos de classe I como nível e mira, Dipstick, perfilômetro do TRL, entre outros. De classe II também é considerada uma avaliação direta e corresponde aos equipamentos com sensores a laser, analisador de perfil longitudinal, perfilógrafos, etc. Por outro lado, a classe III é considerada uma avaliação indireta e compreende os equipamentos do tipo resposta, tais como TRL Bump integrator, Maysmeter, Merlin, entre outros (SAYERS; KARAMIHAS, 1998).

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A manutenção tem sido vista constantemente como um setor importante e estratégico dentro das organizações, por isso torna-se imprescindível compreender as principais práticas adotadas para melhoria do seu desempenho. Nesse sentido, o capítulo 3 irá abordar a revisão da literatura dos principais aspectos que envolvem a manutenção e sua tomada de decisão, bem como apresentar uma revisão bibliográfica de algumas aplicações envolvendo *delay time modelling* e conservação de pavimentos asfálticos.

Desse modo, observa-se que um modelo de decisão multicritério é importante por ser uma representação formal do problema de decisão em questão, com a finalidade de auxiliar o decisor a tomar sua decisão, de modo que o mesmo possa tomar sua decisão frente as ações e critérios disponíveis de maneira organizada e clara. Por isso, na seção 3.1 será realizada uma análise de alguns métodos de apoio à decisão com aplicações na área de manutenção com o objetivo de apresentar alguns estudos na área.

Na seção 3.2 será evidenciado os aspectos do planejamento e estratégias de manutenção, bem como é abordado sobre a política de manutenção e variáveis de custos de manutenção.

Na seção 3.3 é apresentado diversas aplicações baseadas no *delay time modelling*. É importante ressaltar que essas aplicações derivaram de trabalhos iniciais que introduziram o conceito de DTM, tais como o estudo de Christer (1982) que apresentou o DTM em um contexto de manutenção predial e posteriormente, os trabalhos de Christer e Waller (1984a, 1984b) que formalizaram o DTM pela primeira vez em um contexto de manutenção industrial. A partir desses trabalhos, o *delay time modelling* evoluiu com as contribuições de Christer (1992), Baker e Christer (1994), Christer e Lee (1997), Christer (1999), Wang (2008) e Wang (2011), de modo que, esses autores criaram modelos baseados no DTM que vão desde aplicações em plantas simples ou complexas que continham um único componente de falha ou mais para inspeção perfeita e imperfeita até a tratativa de aspectos de engenharia e modelagem de problemas em manutenção. Paralelamente a esses trabalhos, Wang (2009), realizou um importante estudo objetivando a redução do tempo de inatividade de um sistema por meio de inspeções realizadas periodicamente baseadas em DTM, considerado pelo autor como uma estratégia de manutenção eficaz para as empresas como um todo. Ao mesmo tempo, Jones, Jenkinson e Wang (2009), implantaram uma metodologia de aplicação de análise baseada em delay time para manutenção e inspeção, sendo que o objetivo foi reduzir o downtime dos itens em processo e reduzir os

custos com inspeções e manutenções, levando em consideração o impacto em termos de custos para empresa e para o meio ambiente. Já Wang (2012), em seu estudo realizou uma revisão sobre o crescimento de métodos e aplicações em indústrias por meio do *delay time modelling* ao longo das últimas décadas no setor de manutenção e outros setores vinculados com intuito de direcionar pesquisas a longo prazo. Assim, é válido observar que além de Christer, autores como Wang (1997; 2000; 2008; 2009; 2011; 2012) e outros tem procurado contribuir ao longo das últimas três décadas, por meio de diversos estudos, para a ampliação e maior aplicabilidade do *delay time modelling*.

No que tange a aplicação do conceito *delay time modelling* em pavimentos, é importante ressaltar que praticamente não existem aplicações do DTM envolvendo a pavimentação asfáltica. Muchanga (2016) aplicou inicialmente o DTM em um contexto de pavimentação asfáltica urbana com intuito de estudar e analisar a confiabilidade e manutenção da mesma por meio da abordagem *delay time modelling*. Nesse sentido, na seção 3.4 é exposto uma contextualização sobre a conservação e restauração de pavimentos, sobretudo de pavimentos aeroportuários.

3.1 ANÁLISE DO USO DE MÉTODOS DE APOIO À DECISÃO NA MANUTENÇÃO

A tomada de decisão nas empresas é vista como uma das atividades mais importantes para qualquer decisor, de modo que como e quando a decisão é tomada tem um impacto direto na competitividade a curto e a longo prazo para as empresas (DE ALMEIDA, 2013). Por isso, o processo decisório demanda ser estruturalmente melhor para que seja solucionado de maneira detalhada, formal, sólida e clara. A tomada de decisão conforme a estratégia competitiva da empresa é imprescindível para que a produtividade e competitividade da mesma se mantenha estável (SHIMIZU, 2001).

Existe uma série de métodos de apoio a decisão que utilizam diversos modelos com intuito de solucionar esse problema de decisão. Um dos primeiros métodos multicritério utilizados foi o da escola americana proposto por Edwards e Von Neumann em 1980 e ficou conhecido como a teoria da utilidade multiatributo (MAUT) ou multiattribute utility theory, ao qual tem aplicação genérica para praticamente todos os processos de análise e ponderação, sendo também conhecido por ser um método de critério único de síntese. A MAUT derivou da Teoria da Utilidade e Teoria da Decisão, sendo que seu modelo de agregação utilizado é o aditivo. Duas décadas antes do MAUT ser utilizado, foi criado o analytic hierarchy process (AHP) por Thomas L. Saaty em 1960, ao qual os problemas são melhor compreendidos e

analisados através da divisão dos problemas e soluções propostas em níveis hierárquicos. O método AHP também faz agregação com critério único de síntese, isto é, agrega diferentes pontos de vista em uma única função que posteriormente será otimizada (LINDERMANN; HANSEN, 2008). Em seguida, advindo da escola francesa, foi proposto por Roy (1968) o método de sobreclassificação Electre, ao qual estabelece uma relação de superação entre as alternativas que são consideradas possíveis. Assim, a família dos métodos ELECTRE, *Élimination Et Choix Traduisant la Réalité*, I, II, III, IV, IS e TRI foi estabelecida por diversos autores com suas respectivas versões e diferenciam entre si de acordo com a problemática que cada método busca resolver. Outro método de sobreclassificação é o PROMETHEE que tem como objetivo auxiliar decisores a escolher a alternativa que melhor se adapte à sua estratégia e ao seu entendimento do problema. Esse método fornece um quadro global e racional para a estruturação de um problema de decisão, identificando e quantificando conflitos por meio de um conjunto de ações, apontando as alternativas principais (ALMEIDA, 2013). Também existem os métodos interativos, conforme de Almeida (2013), que se associam com problemas discretos ou contínuos. O PLMO (programação linear multiobjectivo) é um exemplo de método de programação matemática interativo. Ao longo dos anos, inúmeros outros métodos foram criados e derivados globalmente com a finalidade de apoiar decisores na modelagem e sobretudo no processo de tomada de decisão.

3.1.1 Aplicações de métodos multicritério na manutenção

Em seu trabalho, Hassanain *et al.* (2015), identificaram 38 serviços para a terceirização de serviços de manutenção, agrupando esses fatores em seis categorias. Essas categorias são de origem tecnológica, gestão, estratégica, qualidade, econômica e em relação a características funcionais de cada setor. Para isso, os autores utilizaram o método AHP para realizar uma análise hierárquica do processo em seu modelo desenvolvido para o estudo de caso em uma universidade da Arábia Saudita para a terceirização de empresas de manutenção de ar condicionado. Já Bertolini *et al.* (2004), além de também utilizarem o AHP para fazer uma modelagem técnica de uma empresa de alvenaria que tinha um problema gerencial de tomada de decisão da manutenção, concluiu que o método AHP objetiva fornecer diversos fatores através do ranking que facilitam a tomada de decisão para encontrar a melhor solução.

Por outro lado, de Almeida (2012b) utilizou o modelo de teoria da utilidade multiatributo (MAUT) para apoiar decisores na escolha do melhor intervalo de manutenção preventiva com

base em dois critérios conflitantes, como o custo e a confiabilidade. Baseado em um estudo de caso, a MAUT foi aplicada numericamente para mostrar a utilização do processo. Portanto, esse trabalho mostrou que o modelo multicritério para apoio na tomada de decisão gerencial utilizado se demonstra importante para aplicação no setor da manutenção e confiabilidade, sobretudo quando se trata do contexto de sistemas de produção de serviços onde existe uma série de interrupções causadas por falhas.

Nesse estudo, Heinrich *et al.* (2007) buscaram selecionar e classificar alternativas de ampliação de energia para várias finalidades em um ambiente de incerteza. Para isso, o estudo foi empregado em uma das principais escolas de pensamento, MAUT juntamente com a teoria de valor multiatributo (MAVT), visando melhorar o planejamento estratégico das empresas de fornecimento de energia elétrica, uma vez que é considerado uma tarefa complexa por causa aos múltiplos conflitantes e incertezas técnicas entrelaçadas. A metodologia usa uma função valor que é acrescida com a avaliação de cenários para gerar informações relativas tanto ao desempenho relativo, quanto de credibilidade de alternativas de expansão de eletricidade. Ou seja, o grupo de alternativas de maior preferência são identificadas baseadas em critérios de performance e confiança para posteriormente oferecer um espectro analítico sobre o problema de decisão e relacioná-lo com ações possíveis.

Silva, Cavalcante e Vasconcelos (2015) apresentaram um modelo de classificação que serve para qualificar previamente prestadores de serviços de conserto de motores elétricos. O modelo multicritério aplicado foi o PROMSORT, ao qual classificou fornecedores de uma forma não compensatória conforme os critérios de avaliação estabelecidos. A partir disso, permitiu-se que a classificação fosse realizada nas empresas analisadas, em quatro grupos baseados em atributos relacionados às suas instalações, seus profissionais e sua experiência.

Em outro contexto, Clemente, de Almeida-Filho e Alencar (2013) apresentaram um sistema de apoio à decisão fundamentado no enfoque de manutenção centrada na confiabilidade (RCM) para determinação de decisões na área de manutenção. Como a manutenção é repleta de improbabilidades, sem fornecer algum tipo de lucro, necessita de uma ferramenta que se encaixe nessa conjuntura. Por isso, os autores aplicaram a ferramenta de auxílio a decisão considerando enfoques do sistema de produção industrial e RCM para estabelecimento da manutenção focada em decisões estratégicas, bem como utilizaram modelos de FMECA e MCDA para tal.

A decisão de manutenção de rodovias deve ser regularizada por meios que sejam viáveis para que possam manter pavimentos em condições que sejam funcionais aos seus usuários, de

modo que venha oferecer uma estrutura mínima e economicamente viável para a sociedade. De tal modo, tem sido prioridade utilizar métodos multicritérios nas intervenções como estratégia para analisar a variedades de visões existentes. Por isso, Albuquerque e Núñez (2010) aplicaram o método de análise multicritério PROMETHEE II na priorização de intervenções na manutenção de rodovias. Os autores consideraram três cenários, analisando associações de critérios de categorias técnicas, econômicas, social, ambiental e de tráfego. Assim, a priorização foi aplicada em vinte e três trechos de rodovias diferentes com a finalidade de analisar as diversas visões do tomador de decisão, isto é, estritamente técnica; razão benefício/custo; e construção sustentável.

Em relação a família dos métodos ELECTRE, evidencia-se o trabalho de Trojan e Morais (2012), que sugeriram um modelo que faz uso no seu perfil superior do ELECTRE TRI, com a finalidade de classificar setores de medição de vazão de água de uma rede de distribuição, por preferência de manutenção, com dados coletados a partir de um sistema automatizado que detecta situações que estejam fora do padrão. A classificação aplicada tem objetivo de oferecer suporte na tomada de decisão de manutenção, considerando a medida mais adequada a ser aplicada por região e levando em consideração os aspectos de melhoria do funcionamento da rede de distribuição.

Já Tervonen *et al.* (2009) propuseram novo método, chamado de SMAA-TRI, ao qual toma como base a análise estocástica multicritério de aceitabilidade (SMAA) com intuito de analisar a estabilidade de parâmetros fornecidos. Assim, a análise de estabilidade pode ser utilizada para obter conclusões vigorosas, permitindo que valores incertos sejam distribuídos arbitrariamente para os pesos. Os autores, a partir desse contexto, aplicaram a simulação de Monte Carlo para descrever para cada alternativa e a parcela de valores de cada parâmetro atribuído a diferentes categorias. O método foi aplicado e analisado em um estudo de caso em uma área avaliação de riscos.

Em outra vertente, Ishizaka e Nemery (2014) desenvolveram um novo método de classificação chamado de ELECTRE-SORT, que tem capacidade de avaliar critérios múltiplos de maneira ilimitada para atribuir as alternativas estratégias incomparáveis. Por meio de um estudo de caso sobre máquinas, considerando critérios como a frequência com que a manutenção é executada, tempo de inatividade, custo das peças de reposição, etc. foi possível aplicar o ELECTRE-SORT para oferecer estratégias de manutenção mais precisas e flexíveis.

Atici *et al.* (2015) utilizaram métodos multicritério para problemas de seleção de localização de instalação de usinas eólicas com a finalidade de estruturar e indicar os melhores

locais para esse fim. A aplicação foi realizada na Turquia e a aplicação foi realizada em duas fases, sendo que na primeira foram eliminados previamente os locais considerados inviáveis e na segunda, concretizada a análise dos locais disponíveis. Para isso, foi utilizado um sistema de informação geográfica para gerar camadas de dados e para aplicar os critérios de eliminação e restrição. Desse modo, foram utilizados uma série de critérios de análise de decisão para classificar e ordenar as redes através dos critérios de avaliação identificados. Os autores ainda ressaltaram que a problemática analisou 13 campos (união de várias redes) com dados determinísticos e outros incertos com intuito de avaliar setores com maior escala para a construção dos parques eólicos ao invés é avaliado em 13 campos, que são um conjunto de várias redes, a fim de avaliar as áreas de maior escala para a construção de parques eólicos em vez de apenas turbinas individuais. A método aplicado provê de um apoio à decisão estruturado, podendo ser aplicado em outros problemas de seleção e classificação de determinação de locais de instalação de parques de energia.

3.2 PLANEJAMENTO E ESTRATÉGIAS DA MANUTENÇÃO

A manutenção está conectada a um sistema com características probabilísticas de comportamento, onde suas falhas devam ser a priori compreendidas para que seu gerenciamento seja possível. Essas falhas podem estar fundamentadas no comportamento de dispositivos que estão associados a confiabilidade e das pessoas, que envolve também toda estrutura organizacional que se agrega a manutenibilidade de sistemas (DE ALMEIDA; SOUZA, 2001).

Na visão de Jardine, Lin e Banjevic (2006), o setor da manutenção abrange uma alocação alta de recursos e de forma recorrente tem sido utilizado de maneira estratégica dentro das organizações. O termo manutenção em sua maioria está relacionado com confiabilidade de sistemas ou processos, bem como é pertinente as estratégias competitivas. Assim, em outra vertente, exposta por Lewis (1999), a manutenção é fundamentada como qualquer atividade desenvolvida que esteja relacionada com a preservação econômica de equipamentos, estruturas e de sistemas em um estado que satisfaça o desempenho das suas respectivas funções.

Desse modo, a confiabilidade de sistemas refere-se à probabilidade de um componente funcionar dado um intervalo de tempo. Por outro lado, a manutenibilidade faz referência a ao tempo de atendimento de um serviço de manutenção e ao tempo de reparo desse mesmo equipamento, ou seja, é como as equipes se comportam frente a uma manutenção base suas habilidades técnicas. Portanto, conforme de Almeida (2012a), a decisão de como desempenhar

a manutenção e trabalhar com a confiabilidade e manutenibilidade dos sistemas é um ponto estratégico para maior parte das companhias do setor de serviços.

Scarf e Cavalcante (2012) ressaltaram que um plano de manutenção com falhas pode restringir o desenvolvimento de sistemas, culminando em um aumento de custos e longa espera para execução de atividades, sendo que em alguns eventos há inferência de falhas por erros na execução das atividades de manutenção. A forma como as intervenções são feitas devem ser bem estruturadas e planejadas, pois os maiores desvios de confiabilidade e manutenção são resultados de falhas comportamentais. Sendo assim, o planejamento de manutenção deve considerar o comportamento de falha de um sistema, os efeitos das falhas e as potenciais atuações que poderiam demonstrar efetivamente uma gestão sistemática com intuito de explanar melhorias para o processo. Um plano de manutenção tem como finalidade assegurar as condições normais de uso do componente compatível com o projeto e ou reestabelecer a vida útil do mesmo.

Ossai, Boswell e Davies (2016) enunciam para que haja um aperfeiçoamento do desempenho de qualquer equipamento ou instalação, reduzindo custos e a probabilidade de falha, se faz necessário que decisões sejam tomadas considerando inspeções e ações de reparo adequadas a cada sistema especificamente. Paralelamente a esse contexto, Murthy, Karim e Ahmadi (2015) destacou que o serviço de manutenção tem como finalidade conservar ou ampliar a capacidade de um equipamento para que execute suas funções de maneira apropriada e eficiente.

Diante desse contexto, observa-se que Kobbacy e Murthy (2008) já haviam ressaltado que a gestão da manutenção trabalha diretamente com a gestão integral da manutenção de um ativo. Por isso, ao se tratar da manutenção de um equipamento, componente ou sistema, a gestão deve ser contemplada em todos os níveis, estratégico, tático e operacional. Ao mesmo tempo, destaca-se que embora o nível estratégico esteja totalmente ligado com as estratégias de manutenção, será necessário que tais estratégias sejam interligadas de maneira contínua e lógica com as estratégias do negócio, envolvendo produção, comercialização, finanças, entre outros. Portanto, para que as estratégias de manutenção sejam vinculadas com a estratégias do negócio e possam ser desempenhadas de maneira requerida e planejada, todos os departamentos de uma empresa devem estar integrados. Por isso, Hora (1987) pioneiramente destacou que a manutenção deveria ser vista constantemente como elemento complementar da estratégia de negócios nas estimativas de uma organização para se tornar competitivamente forte.

De tal modo, Pinjala, Pintelon e Vereecke (2006), configurou que os principais elementos estruturais da tomada de decisão estratégica da manutenção estão relacionados a capacidade que a equipe de manutenção tem referente a força de trabalho, considerando a operação, supervisão e gestão, bem como a capacidade de mudar os padrões de trabalho através da contratação esporádica; considerou as ferramentas, equipamentos, capacidade de reposição, habilidade, tecnologia disponível (sistemas especialistas e manutenção inteligente) e disponibilidade da força de trabalho; e também destacou a capacidade da empresa se integrar verticalmente por meio da terceirização. Do mesmo modo, os autores também ressaltaram que os principais componentes que compõe a tomada de decisão estratégica da manutenção em relação a infraestrutura são a política de manutenção existente, a forma como a manutenção é organizada e explorada, o modelo de sistema de planejamento e controle da manutenção, a maneira como a política de recrutamento, treinamento e desenvolvimento é aplicada e como as modificações de melhoria em relação a equipamentos e novas instalações são vistas.

A busca constante de uma maior eficiência na manutenção pode construir uma diversidade competitiva importante para as empresas a longo prazo, já que isso implica na obtenção de uma maior disponibilidade do sistema e outros resultados vinculados (LINDERMANN; HANSEN, 2008).

3.2.1 Custos de manutenção e suas variáveis dentro da política de manutenção

A política de manutenção consiste na estratégia que uma organização utilizará para alcançar seus objetivos dentro da manutenção, muitas vezes voltados a minimização de custos e redução de paradas, bem como a maximização de confiabilidade ou disponibilidade. Em outros aspectos, trata-se de um conjunto de ações que trabalham em grupo para assegurar que o equipamento ou sistema que está em operação desempenhe seu papel de maneira demandada, sob categorias preestabelecidas. Desse modo, dentro de uma política de manutenção com foco em custos, observa-se que os mesmos são divididos em custos de manutenção provenientes de atividades programadas e custos de manutenção referentes a falhas e por tempo de sistema inativo ou manutenção corretiva propriamente dita. A medida que as frequências das manutenções planejadas aumentam, o custo se eleva na mesma magnitude, contudo os custos resultantes de inatividade por falha reduzem expressivamente. Assim, acrescentar um maior número de manutenções programadas para um sistema amplia o custo da preventiva, mas nem sempre é compensado pelo o custo da redução da corretiva, a partir de um ponto ótimo de até

onde as manutenções planejadas devem incorrer (CAVALCANTE, 2011). Essas considerações podem ser observadas por meio da figura abaixo:

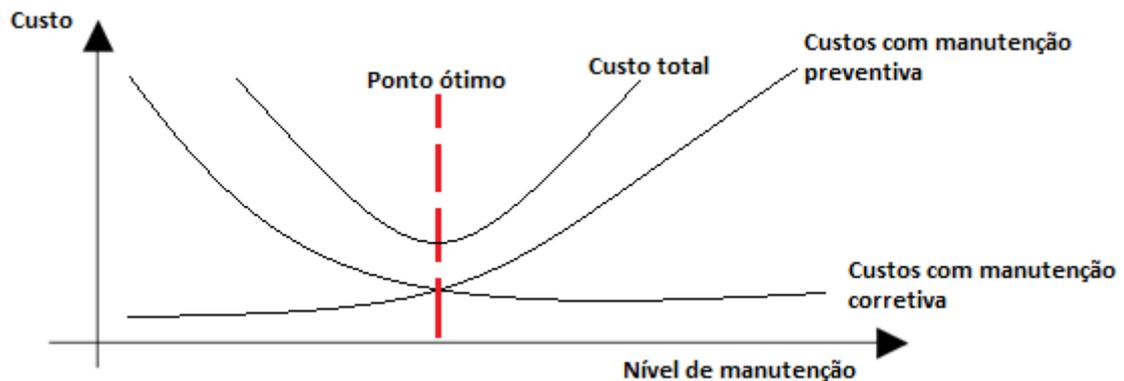


Figura 3.1: Relação entre os custos com manutenção preventiva e corretiva

Fonte: Adaptado de Mirshawa e Olmedo (1993).

Diante desse aspecto, Scarf e Cavalcante (2012) destacaram que o custo de manutenção e confiabilidade de um sistema simples estão relacionados com a qualidade da inspeção e de componentes de substituição. De maneira que o sistema pode estar em um dos três estados: operacional ou dito como bom, defeituoso ou com falha.

Stenström *et al.* (2016) acreditam que a manutenção possa representar uma amostra expressiva dentro dos custos das organizações em termos de ativos, porém a construção da estratégia de custos depende de inúmeros fatores, sobretudo do equilíbrio entre manutenção corretiva e preventiva. Então, as estratégias de custos contemplam fatores de equilíbrio que irão variar de acordo com o objetivo que cada organização deseja alcançar.

3.3 APLICAÇÕES DE DELAY TIME MODELLING

As inspeções são ferramentas essenciais para qualquer sistema de manutenção preventiva. Quando um item é inspecionado, possíveis defeitos podem ser identificados e solucionados para impedir o surgimento de futuras falhas. Assim sendo, determinar intervalos de inspeções se configura como uma das principais medidas que devem ser adotadas por um decisor da manutenção. Corriqueiramente, o intervalo entre as interferências da manutenção planejada era deliberado em função da experiência dos gestores ou baseado na recomendação do fabricante do equipamento. Com os avanços nos estudos da manutenção, muitos modelos têm sido desenvolvidos com a finalidade de determinar um intervalo ótimo entre inspeções considerando inúmeros cenários de aplicação (WANG; BANJEVIC; PECHT, 2010). Logo, é importante

ressaltar que nas últimas três décadas uma série de modelos baseados no *delay time modelling* foram desenvolvidos e aplicados em situações deliberativas.

Nesse sentido, Christer e Redmond (1992), Baker e Christer (1994) e Christer e Lee (1997) discutiram sobre o desenvolvimento do conceito delay time, considerando os aspectos de engenharia e modelagem de problemas de manutenção. Os autores se preocuparam em apresentar as principais suposições do modelo, bem como as principais tendências da época em relação as aplicações do DTM. Também abordaram a utilização do DTM por engenheiros na ausência de analistas no processo. Christer e Redmond (1992) também ressaltaram que modelos baseados em delay time são provenientes de avaliações subjetivas. Por isso, Christer e Lee (1997) apresentaram pioneiramente o DTM como um conceito matemático que tem sido utilizado vastamente por engenheiros com a finalidade de desenvolver um meio que possa modelar problemas de decisão envolvendo a manutenção.

Nesse mesmo período, Christer *et al.* (1995), apresentaram um estudo realizado com produtos fabricados em uma empresa de cobre. O estudo buscou desenvolver e aplicar técnica de DTM com objetivo de otimizar a manutenção preventiva (PM) da planta industrial. O levantamento do processo de surgimento de defeitos e da distribuição do DTM foram considerados a partir de dados das quantidades de falhas encontrados nos registros históricos da manutenção preventiva. Baseado nos parâmetros do modelo estimado e o DTM de falha, foi proposto um modelo de inspeção para delinear a relação entre o tempo de inatividade total e o intervalo ótimo de manutenção preventiva.

Leung e Mak (1996), utilizaram as técnicas do DTM para modelar problemas de manutenção preventiva de caixas de câmbio em uma companhia de Hong Kong, a Kowloon Motor Bus (KMB). Assim, foi exposto um modelo simplificado para verificar a inspeção da manutenção, bem como as variações de alguns padrões que foram notados durante a investigação. A finalidade do estudo foi identificar os parâmetros dos problemas da KMB para que possa desenvolver um modelo baseado em DTM que determine uma política de manutenção preventiva onde o custo por unidade de tempo possa ser minimizado. Foi verificado a viabilidade de implementar essa política com base nos critérios de desempenho dos trabalhadores, tempo de inatividade das caixas de câmbio e o custo mensal derivados da manutenção e das despesas gerais. Assim, os resultados foram comparados com os da política de manutenção preventiva utilizada antes da pesquisa e concluiu-se que a KMB deveria melhorar o curso das suas políticas, bem como o modelo se demonstrou aplicável em casos técnicos similares a esse.

Christer *et al.* (1998), fizeram as mesmas aplicações em uma planta de fabricação de cobre que Christer *et al.* (1995), porém desta vez, utilizando somente dados subjetivos. Além de realizar a modelagem da implementação da manutenção preventiva planejada (PM) utilizando o DTM, o estudo teve como finalidade realizar testes de um método que estimasse os parâmetros do modelo de dados subjetivos no contexto da modelagem DTM. Para avaliar os dados subjetivos foi aplicado questionário, já que os dados objetivos foram coletados anteriormente, conforme exposto por Christer *et al.* (1995). Ao final do estudo, com base na avaliação de dados e na modelagem delay time ficou evidente que seria necessário haver uma melhoria na política de manutenção da fábrica e nos procedimentos PM para que a eficácia da PM fosse alavancada.

Para Christer (1999), o *delay time modelling* é um conceito matemático importante difundido por engenheiros com objetivo de modelar problemas de decisão na manutenção. Por isso, em seu trabalho, o autor centralizou o foco nas decisões de engenharia de manutenção, revisando conhecimento e a experiência de modelagem de *delay time* cumulativo. Assim, Christer (1999), apresentou o DTM com modelo simples para um componente reparável em uma planta industrial complexa. O foco foi discutir as variantes do modelo básico, incluindo o controle de manutenção perfeita e não-perfeita, o estado estacionário e as condições de estado não estacionário, e taxa de chegada Poisson homogêneo e não homogêneo de defeitos. Além disso, analisou-se o processo de estimativa de parâmetros, como também os procedimentos de avaliação de dados subjetivos e objetivos.

Também baseado no DTM, foi desenvolvido por Wang (2000) um novo modelo de endereçamento de controles múltiplos de uma planta de produção considerando diferentes intervalos. O modelo proposto utiliza o algoritmo ligado ao branch-and-bound (algoritmo para encontrar soluções ótimas para vários problemas de otimização) para descobrir os intervalos ideais para todas as inspeções que minimize a longo prazo custo total esperado por unidade de tempo. Esse tipo de modelagem pode ser ampliado para modelar o Downtime (tempo de inatividade) ou a confiabilidade de sistemas. O autor também utilizou um exemplo numérico para ilustrar os processos de modelagem e de solução do problema de programação de inspeção.

Nesse mesmo período, Christer, Lee e Wang (2000), expuseram um estudo sobre modelagem da política de manutenção preventiva de uma unidade produtiva local com objetivo de aperfeiçoar o padrão atual. O modelo proposto teve como base o DTM, já que por causa de uma falta de dados por parte da manutenção preventiva, os padrões do processo e a distribuição do *delay time* foram estimados de acordo com dados de falha única utilizando o procedimento

da máxima probabilidade. Vale ressaltar que a ausência de dados explorada no estudo se torna uma variável importante por se tratar de uma situação que ocorre frequentemente na prática. Assim, foi realizado um procedimento de avaliação dos fins e se chegou à conclusão de que a empresa tinha outros problemas para resolver antes do problema inspeção, isto é, foi recomendado que fosse realizada uma estrutura da prática de engenharia de manutenção.

Paralelamente, Desa e Christer (2001) se depararam com a mesma questão de falta de dados, pois embora dados objetivos sejam importantes para um problema de decisão, nem sempre o acesso aos mesmos é possível, sobretudo em países em desenvolvimento. Diante desses entraves, os autores desenvolveram um estudo de manutenção entre 1991-1995 em uma empresa de ônibus que transportava passageiros entre cidades. Esse caso foi estudado mesmo com a ausência de registros de manutenção e de dados operacionais, isto é, utilizando apenas dados subjetivos para realizar a modelagem de manutenção tanto para definir o problema e para estimar os parâmetros. Foram utilizados para esse estudo o modelo Delay Time e Snapshot, sendo que o mesmo teve uma contribuição significativa direta e indiretamente para a mudança cultura do trabalho desempenhado na empresa, bem como para a redução de panes nos ônibus, principais problemas encontrados no estudo.

Já Carr e Christer (2003), desenvolveram um estudo matemático do modelo de *delay time* (DTM) envolvendo a inspeção da manutenção para investigar o quanto os erros humanos contribuem para o aumento das falhas durante o procedimento de inspeção. As consequências do erro humano foram pesquisadas com a finalidade de prover um meio que determinasse o custo de erro humano, bem como para auxiliar decisores a tomar a decisão correta em relação a esse aspecto.

Ao mesmo tempo, nesse período, Wang e Christer (2003) apresentaram três algoritmos de solução para um modelo de sistema de inspeção de multicomponentes fundamentado no DTM. Esse é um problema comum que envolve múltiplas decisões com uma série de variáveis a serem consideradas. O primeiro algoritmo foi criado para estabelecimento do tempo de substituição de um sistema em casos em que o processo de defeito de chegada não seja semelhante. O segundo algoritmo é uma extensão do algoritmo 1, no qual também são determinados por intervalos de inspeção ideais que não sejam constantes. Já o terceiro algoritmo é numérico e tem a finalidade de resolver uma equação integral decorrente dentro do modelo, no caso de inspeção oportunista com fracassos. Depois disso os algoritmos são expostos por meio de um exemplo prático e as soluções são apresentadas. Assim, a relação de algoritmos

propostos utiliza um processo repetitivo para definir o tempo de substituição e reduzir a quantidade de variáveis de decisão para somente uma.

Em outro contexto, Wang e Jia (2007), apresentaram um modelo de inspeção com DTM utilizando dados objetivos e subjetivos para determinar intervalos ótimos de inspeção. Para aproveitar dessas duas fontes de dados (objetivos e subjetivos) foi realizada uma abordagem utilizando um método bayesiano de hierarquia padrão. A aplicação teve início considerando a estimação dos dados subjetivos e à medida que havia disponibilidade, sendo atualizada com os dados objetivos. Assim, as avaliações iniciais foram feitas com uso do método bayesiano baseado na experiência com as estatísticas subjetivas de composição fornecidas pelos agentes de inspeção, diferindo dos enfoques subjetivos previamente descritos na modelagem do delay time. Ao final, foram gerados modelos baseados em dados reais e em dados simulados com intuito de discutir os diversos resultados.

Por outro lado, Wu *et al.* (2007), utilizaram o DTM na modelagem e análise de detecção de falhas por meio da inspeção de um software de confiabilidade e o processo de correção dos mesmos considerando a dependência do tempo. Ou seja, o objetivo dos autores foi encontrar uma abordagem que agrupasse as dependências de tempo entre a detecção de falhas e os processos de correção de falhas, concentrando-se nas estimativas dos parâmetros do modelo combinado. Foram analisadas uma série de características do modelo combinado, como a capacidade de previsão, como também realizada uma comparação com o método tradicional de estimativa dos mínimos quadrados. Além disso, foi estudado uma aplicação direta do caso, ilustrando o efeito do atraso de tempo na política de liberação ótima, e o custo global de desenvolvimento do software.

Retornando para o aspecto da manutenção propriamente dita, Akbarov, Christer e Wang (2008), aplicaram conceitos do *delay time modelling* em um sistema de produção (estudo de caso) utilizando a experiência de especialistas no processo, com intuito de identificar problemas na modelagem de manutenção da planta. O estudo buscou descrever o processo de transformação de compreensão do problema no sentido de melhorar especificamente a formulação do problema, visando uma melhor tomada de decisão. Para isso, foi feito uso de diversas ferramentas, como análises de regressão, modelagem instantânea e modelagem de delay time. As informações subjetivas de especialistas foram úteis para o processo da modelagem e a análise geral mostrou a importância desses dados para o melhor entendimento de problemas de manutenção.

Scarf e Majid (2011), criaram um modelo de extensões de garantia aplicado a uma indústria automobilística (Malaysian Truck Berhad) com objetivo de medir o efeito dos serviços prestados. Assim, é importante observar que os prolongamentos de garantia são frequentemente levados em consideração em veículos automotores tendo como base o custo esperado do fabricante frente ao efeito do serviço prestado durante o tempo de garantia. Logo, se os defeitos ocorrem antes das falhas assim como as inspeções veiculares, a tratativa sobre o defeito acaba por ser mais fácil e prática. De maneira que, para modelar essa consequência do serviço prestado baseado no controle de manutenção foi utilizado o *delay time modelling*. A modelagem se baseou nas exigências que os sistemas de garantia requerem de seus clientes para poderem ofertar um nível padrão de serviço.

Observa-se que, em qualquer tomada de decisão envolvendo a manutenção, se faz necessário que decisões sejam voltadas a substituição de equipamentos de maneira preventiva fundamentado em restrições da condição do equipamento ou sistema. Por isso, Lipi, Lim e Zuo (2012), desenvolveram um modelo de substituição de condicionamento com base na idade e histórico do equipamento utilizando DTM com a intenção de minimizar o custo médio de longo prazo, para maximizar a disponibilidade mediana de longo prazo ou para fazer uma junção de ambos. Também foi utilizado um procedimento de filtragem estocástica (SFP) para fazer a estimativa da distribuição de vida residual do equipamento dependente do banco de dados históricos do mesmo. Assim, uma amostra de custo e de disponibilidade a longo prazo foram avaliados para definir os teoremas mandatórios para o cálculo do tempo de substituição ideal. De modo que, para que o custo fosse minimizado e a disponibilidade maximizada, foi proposto uma linha de decisão com múltiplos objetivos para auxiliar gestores de manutenção a lidar com *trade-offs* entre esses dois objetivos. Ao final, modelos numéricos foram exibidos para cada panorama com finalidade de demonstrar a potencial eficácia de cada técnica recomendada.

Paralelamente a esse estudo, Jodejko-Pietruczuk e Werbińska-Wojciechowska (2012), desenvolveram uma pesquisa com foco na política de inspeção imperfeita aplicado ao DTM, ou seja, quando nem todos os defeitos conseguem ser identificados durante uma atividade de inspeção. Os autores focaram na política de inspeção imperfeita em blocos para sistemas multiunidades. Assim, foi exposto um modelo de política de inspeção em bloco e moldes numéricos com uso do programa QNU e ao final, realizado análise de sensibilidade do modelo desenvolvido.

Dando continuidade à trabalhos desenvolvidos anteriormente com base no DTM, Jodejko-Pietruczuk e Werbińska-Wojciechowska (2014), realizaram uma pesquisa para medir

o nível de desempenho de uma política de inspeção em blocos pelo ponto de vista econômico e pela perspectiva da disponibilidade. Os autores investigaram a relação entre esses dois critérios com foco na confiabilidade do sistema. Para isso, foi realizado inicialmente uma revisão da literatura sobre a abordagem da modelagem com base no *delay time modelling*, posteriormente, foi proposto um modelo da política de inspeção em bloco. Para exemplificar numericamente o modelo, novamente foi utilizado o programa QNU e os resultados gerados foram tratados a partir do ponto análise de sensibilidade.

Outro estudo envolvendo o *delay time modelling* foi desenvolvido por Lopes, Cavalcante e Alencar (2015) em um contexto de planejamento de manutenção no setor da construção devido a necessidade eminente de cumprimento de prazos de projetos dessas empresas. Dessa forma, foi constituído uma política de manutenção para apoiar a contratação de empresas terceiras a um custo aceitável, sobretudo empresas de leasing. De tal modo, o estudo propôs uma política para o planejamento de inspeções e formulações para contratações.

3.4 CONSERVAÇÃO E RESTAURAÇÃO DE PAVIMENTOS AEROPORTUÁRIOS

De acordo com a Organização de Aviação Civil Internacional (ICAO, 2004), a superfície dos pavimentos dos aeroportos deve estar livre de qualquer tipo de partículas que se encontrem soltas e que possam oferecer risco aos motores das aeronaves, estrutura e ao exercício do sistema aeroportuário, uma vez que o desprendimento desses materiais ou seixos geralmente são advindos do desgaste do próprio pavimento.

Os desgastes dos pavimentos são, em sua maioria, gerados por condições climáticas e ambientais, pelas ações do tráfego de aviões e/ou por serviços de manutenção insuficientes para restaurar ou manter os pavimentos na condição ideal. Portanto, a conservação de pavimentos aeroportuários é uma decisão importante, contudo de custo elevado para administradoras que dependem de recursos financeiros, muitas vezes é abaixo do necessário (OLIVEIRA, 2009). Um número considerável de administradores aeroportuários decide sobre os serviços que serão realizados para manutenção preventiva (conservação) e manutenção corretiva (restauração) dos pavimentos em aeroportos com base na demanda imediata ou na experiência. Essa tomada de decisão empírica muitas vezes acaba não permitindo que seja feita uma avaliação efetiva dos custos esperados e sobre o quanto ações de conservação tem potencial para gerar um aumento da disponibilidade das pistas (FAA, 2006).

De acordo com Rodrigues (1999), a conservação das pistas aeroportuárias apresenta três níveis, sendo que o primeiro é conhecido como a conservação rotineira, isto é, aquela que não interfere diretamente no pavimento; a segunda como sendo a conservação leve, que corresponde a manutenção em áreas específicas (pequenas) do pavimento; e por fim, o terceiro nível que diz a respeito da conservação dita como pesada por aplicar de maneira contínua camadas de pequena espessura no pavimento principal. Em contrapartida, segundo Oliveira (2009), a restauração também visa estender a vida útil do pavimento assim como a conservação. Além disso, visa reduzir a degradação e aumentar a qualidade rolagem do pavimento, porém a um custo de execução bem maior, se comparado com a conservação. O autor ainda ressalta que as atividades de restauração se tornam repetitivas, em sua maioria, à proporção que ações de conservação acabam não sendo tomadas no devido tempo para cada tipo de pavimento ou em casos em que a prática de manutenção preventiva se quer existe.

Os pavimentos podem ser desmembrados em pavimentos flexíveis, rígidos ou semirrígidos, de modo que os pavimentos flexíveis são caracterizados por conter um revestimento ou aglomerante de material asfáltico ou betuminoso, sendo geralmente aplicados na superfície do pavimento em uma ou mais camadas, podendo de adaptar aos diferentes tipos de deformações (DNIT, 2003a).

De tal modo, para que um pavimento flexível seja criado, é necessário a aplicação de pequenas pedras compactadas, pressionadas e misturadas juntamente com o betume (uma espécie de cola). Assim, o betume é levado a um aquecimento de 177° C e antecede a adição desses pequenos seixos. Posteriormente, essa mistura de pedras e betume é despejado na pista para gerar o pavimento flexível. A composição do pavimento flexível pode ser modificada para se adaptar aos diversos tipos de tráfego e sobretudo aos fatores climáticos que variam por região. Por outro lado, no pavimento rígido, após uma camada de base ser estabelecida, é adicionado uma placa de concreto. Os materiais utilizados nesse tipo de pavimento, dependendo das condições do local, podem ser levemente modificados para oferecer uma maior estabilidade (BRANCO, 2011). A diferença entre os pavimentos flexíveis e rígidos pode ser observada conforme segue:

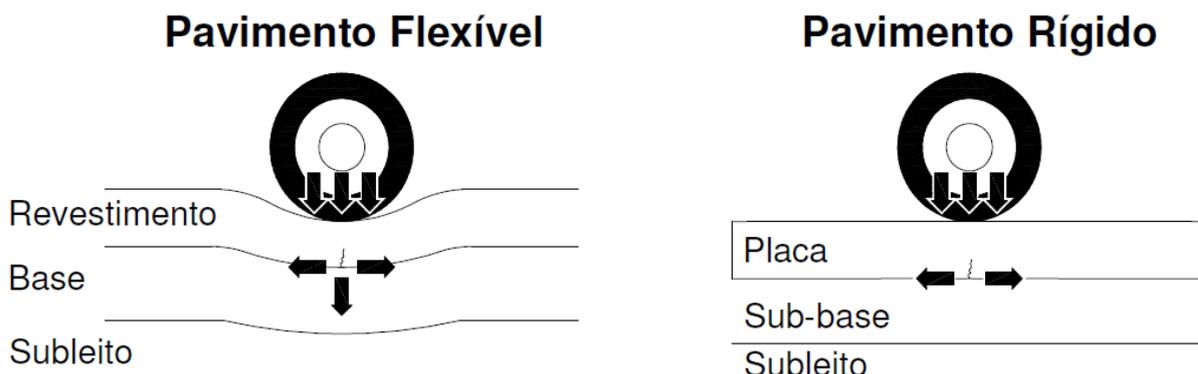


Figura 3.2: Diferença entre pavimento flexível e rígido

Fonte: Goldner, 2012.

Sendo assim, quando o pavimento começar a apresentar defeitos, de acordo com o Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes (DNIT, 2006d), o reforço para uma pavimentação flexível que apresente trincas se baseia em sobrepor uma nova camada para restaurar o pavimento na maneira mais próxima de um pavimento novo, conservando sua capacidade estrutural e prevenindo do aumento do desgaste. Esse mesmo reforço também se aplica aos pavimentos rígidos que expresse fissuras nas placas ou desgaste de dilatação. O mesmo ocorre para os pavimentos semirrígidos, de modo que a camada de reforço que será inserida no pavimento esteja estabilizada com aglomerantes hidráulicos. Assim sendo, observa-se que os resultados da propagação de uma trinca seja o desenvolvimento de buracos, enfraquecimento estrutural do asfalto devido ao aumento de umidade, entre outros defeitos. Por isso, tem sido cada vez mais dado foco na velocidade de propagação das trincas nessa camada de reforço, uma vez que a propagação de trincas pode ocorrer por altas variações de temperatura e pela maneira como ocorre o tráfego sobre o pavimento.

Desse modo, segundo Silva (2005), os reparos em pavimentos flexíveis, são provenientes de técnicas que não visam necessariamente o aumento da eficiência estrutural, e sim uma medida preventiva para que seja evitado a ruptura de agregados, objetivando aperfeiçoar a conjuntura de atrito. Por outro lado, embora a durabilidade de pavimentos rígidos seja uma virtude, não significa que o mesmo não necessite de manutenção. Segundo Fonseca (1990), o uso de pavimento rígido é tendencioso e muitas vezes recomendado para locais de reabastecimento de aeronaves, pátio de manobras e áreas de manutenções dos aviões. Essa usualidade e indicação deve-se a característica de maior resistência química do concreto aos óleos, lubrificantes e combustíveis, já que em casos de incidentes ou derramamentos, essa superfície poderá oferecer uma maior resistência.

De maneira geral, conforme Glushkov *et al.* (1988), os pavimentos asfálticos aeroportuários necessitam ser capazes de resistir aos fatores climáticos ao qual foram projetados, ser resistente a impermeabilidade de maneira que possa evitar a infiltração nas camadas subjacentes, combater às erosões causadas pelos jatos das turbinas e, sobretudo possibilitar praticidade nas manutenções ou reparos.

Portanto, conforme Bernucci *et al.* (2010), quando existe um desconforto para um usuário de uma pavimentação asfáltica, significa dizer que o transporte que trafegou sobre esse pavimento também sofreu as consequências desses defeitos. Implicações que ocasionam uma série de custos operacionais. Além disso, quando a atuação demora para acontecer em cima dos defeitos, acaba gerando falhas que poderiam ser evitadas, fazendo com que o custo e o trabalho empregado na manutenção do pavimento aumentem ainda mais. Destaca-se que existem uma série de exemplos que indicam a correlação entre irregularidades com os custos operacionais. Assim, esses resultados são e devem ser empregados no planejamento da pavimentação asfáltica e para a manutenção da mesma.

4 MODELO CARACTERÍSTICO DA PROBLEMÁTICA

Os modelos matemáticos são caracterizados por objetivarem representar convencionalmente os problemas reais. Essa área de conhecimento estuda problemas reais com intuito de prognosticar o comportamento dos mesmos e partir disso, criar alternativas que possam auxiliar na melhor tratativa ou condução da problemática. Portanto, nessa seção são apresentados os métodos e o modelo utilizado para desenvolvimento desse estudo.

Em relação a metodologia, o presente trabalho é composto por pesquisa descritiva de caráter quantitativo, com levantamento de dados secundários e aplicação do modelo por meio de estudo de caso. Nesse caso, a pesquisa descritiva realizada buscou abranger o levantamento de informações secundárias em artigos, livros, manuais do DNIT, entre outros, além de coleta de dados para o estudo de caso desenvolvido. Vale lembrar que o estudo de caso se caracteriza por ter grande flexibilidade, sendo impossível estabelecer um roteiro rígido que determine com precisão como deverá ser desenvolvida a pesquisa. Tal procedimento consiste em uma espécie de histórico do fenômeno, extraído de múltiplas fontes de evidências, na qual qualquer fato relevante à série de eventos que descrevem o fenômeno é um dado potencial para o estudo de caso (GIL, 1999; MIGUEL, 2011).

Em síntese, o modelo propendido compreendeu as seguintes etapas, de acordo com Hillier e Lieberman (2006): definição da problemática (conforme expresso ao longo desse estudo), realização de coleta de dados disponíveis na Infraero. Posteriormente foi construído um modelo matemático para representar o problema e desenvolvimento computacional para produzir potenciais soluções, implementação e análise de resultados.

De maneira geral, é importante ressaltar que o modelo elaborado teve como objetivo principal definir uma política de manutenção baseada no *delay time modelling* que se concentrasse na frequência ótima de intervalos de manutenção preventiva para pavimentação asfáltica da pista de pouso e decolagem do Aeroporto de Internacional de Recife - Pernambuco, considerando custo e disponibilidade. Isto é, estabelecer uma relação entre custo de manutenção das pistas versus disponibilidade das mesmas.

4.1 ESTRUTURA METODOLÓGICA

4.1.1 Estruturação de objetivos

Os objetivos são afirmações de algo que se deseja conseguir. O método mais preciso para identificar objetivos é o de dialogar com tomadores de decisão. Essa metodologia demanda criatividade e pensamento intenso. As respostas fornecidas durante uma discussão geram, a priori, uma lista potencial de objetivos que deverá ser analisada de maneira mais detalhada. Os objetivos se caracterizam pelo contexto da decisão, o objeto e a direção da decisão. Por isso, qualquer objetivo é composto por objetivo estratégico, objetivos fundamentais e objetivos meio. De tal modo, um objetivo fundamental é uma razão essencial para o interesse na situação de decisão. Objetivos meios são importantes por serem os elementos necessários para a realização dos objetivos fundamentais. Assim, objetivos meios são ditos como objetivos úteis por auxiliarem no desenvolvimento de modelos para analisar problemas de decisão e para a criação de alternativas. Contudo, são os objetivos fundamentais que orientam todo o esforço em situações de decisão e na avaliação de alternativas (KEENEY, 1992).

Em outras palavras, segundo de Almeida (2011), ao aplicar um método de decisão, independentemente do método aplicado, presume-se a necessidade de se constituir que objetivos o decisor busca alcançar, representando-os esses múltiplos objetivos por meio do uso de critérios ou atributos.

Nesse sentido, o presente estudo visa estruturar os objetivos estratégicos, fundamentais, e meio desse contexto para que a metodologia possa ser aplicada de maneira efetiva e os desígnios de interesse possam ser respondidos. Isto é, busca-se propor um modelo de apoio a decisão baseado nos conceitos de *delay time modelling* para definição de políticas de manutenção para pavimentos asfálticos considerando como critério o custo e a disponibilidade.

4.1.2 Procedimentos metodológicos

As etapas que compõem a construção do modelo de decisão são baseadas nos estudos de Roy (1996) e de Almeida (2013). Desse modo, de acordo com de Almeida (2011; 2013), a modelagem de um problema multicritério deve ser constituída das seguintes etapas:

Fase introdutória:

1. Designação de decisores: Essa etapa é definida como a caracterização do decisor ou dos decisores (no caso de decisão em grupo) e outros atores do processo decisório. Aqui deve ser estabelecido de maneira aberta o papel de cada ator e o que o caracteriza;

2. Reconhecimento dos objetivos: Identificação dos objetivos do problema;
3. Estabelecimento de critérios ou atributos: Determinar os critérios que representam os objetivos. Os atributos representam o nível em que os objetivos podem ser atingidos, isto é, podem ser um conceito que mede performance, eficiência, etc. Um atributo pode ser natural quando tem uma explicação de senso comum para todos (exemplo: custo e disponibilidade); pode ser construído quando é difícil ou complexo trabalhar com atributos naturais, ou seja, são atributos que requerem a construção de escalas de avaliação (exemplo: Medir a imagem da empresa para o cliente e para o funcionário); e o atributo *proxy* que é utilizado quando não é possível fazer uso do atributo natural ou construído, isto é, esse atributo é uma medida sugestiva anexa ao objetivo que se deseja medir (KEENEY, 1992).
4. Determinar o espaço de ações: Estabelecer as alternativas ou ações potenciais para solucionar a problemática;
5. Avaliação de fatores não-controlados: Identificação e análise de fatores complacentes que não estão sob o controle do decisor.

Fase de modelagem de preferências e seleção do método:

6. Modelagem de preferências do decisor: Essa fase é a base para se escolher o método mais apropriado para o problema para se chegar a um modelo sólido, isto é, é a estruturação a partir das preferências do decisor. Essa etapa deve ser desenvolvida de maneira agregada com as etapas de avaliação intracritério e intercritério (7 e 8). Nessa fase deve-se justificar a escolha do método, bem como expressar se o mesmo é compensatório, não compensatório, etc.
7. Avaliação intracritério: Essa etapa consiste na construção da matriz de avaliação, ou seja, é a etapa de obtenção da função valor de todos os atributos ou critérios. Essa fase depende do tipo de método utilizado (escolhido previamente de acordo com as preferências do decisor na etapa anterior). Essa fase consiste em avaliar cada alternativa x para cada critério y , levando a função valor $v_j(a_i)$. A construção da função valor para cada elemento é baseada na análise das consequências. Nessa etapa também se faz a normalização das escalas, isto é, a conversão para uma mesma escala de avaliação. É importante ressaltar que essa fase se relaciona diretamente com a maneira como os atributos ou critérios foram instituídos na etapa 3, já que o tipo de atributo (natural, construído ou *proxy*) determinam na maioria das vezes aspectos da análise interior do critério, compreendendo as escalas de avaliação. Nessa avaliação, a função valor (representação das consequências em cada critério) pode ser linear ou não linear. Se a função for considerada linear, nessa etapa deverá ser analisado a melhor e a pior consequência para o decisor.

8. Avaliação intercritério: Análise que considera a combinação dos diferentes critérios, isto é, com o valor da função global será possível fazer uma avaliação considerando a combinação dos diferentes critérios apresentados. Essa agregação entre os critérios irá permitir que seja realizado uma comparação entre as alternativas, seja por meio de um valor global (*score*) para cada alternativa ou através do procedimento que permita essa comparação sem que seja atribuído um valor global. Essa avaliação intercritério pode ser representada pela função:

$$v(ai) = f[v1(ai), v2(ai), v3(ai), \dots, vm(ai)].$$

Fase de finalização: O modelo de decisão já deve estar consolidado e pronto para ser utilizado.

9. Avaliar as alternativas: Consiste na análise completa das alternativas. Assim, para cada tipo de problema a análise das alternativas irá admitir que seja expresso um resultado final para ser apresentado ao tomador de decisão.

10. Análise de sensibilidade: Com o resultado da etapa 9 será possível gerar uma recomendação inicial ao decisor, assim a análise de sensibilidade tem como objetivo checar o vigor dos dados e os parâmetros inseridos no modelo, isto é, fazer uma verificação dos dados por meio de simulações com alteração de entradas para ver se o modelo está apropriado e se as escolhas realizadas dentro das etapas do modelo permanecem na saída do mesmo.

11. Avaliar resultados e elaborar recomendação: É a etapa em que só pode ser realizada se a etapa 9 e 10 estiverem sido concluídas, sem haver necessidade retroceder às fases anteriores. Assim, essa etapa consiste em gerar um balanço indicativo ao tomador de decisão quanto os aspectos do modelo e o quão ele pode ser aproveitado, ser útil ou confiável em relação ao problema. Ou seja, a recomendação deverá ter todos os detalhes do procedimento de decisão, justificativas, etc.

12. Implementar decisão: Implementação das ações e descrição dos principais aspectos que devem ser observados na implementação da decisão para o problema específico.

Paralelamente, por outro lado, em relação a manutenção e inspeções, o procedimento metodológico adotado foi baseado no *delay time modelling*, proposto por Christer (1976) em um contexto de manutenção predial e por Christer e Waller (1984a) em um contexto de manutenção industrial. Essa etapa também se baseia nos trabalhos de DTM sugerido por Wang (2008) e Jones, Jenkinson e Wang (2009), dando continuidade ao estudo de Muchanga (2016). Sendo assim, as etapas são expressas como:

1. Levantamento de dados e modelos que apresentem o surgimento do defeito antes da falha:

Essa etapa consiste em identificar métodos que possam expressar o aparecimento do defeito antes do surgimento da falha. Para isso, primeiramente foi necessário compreender que

um sistema pode estar em três estados (operacional, defeituoso e falho) e apresentar dois estágios, sendo o primeiro estágio do ponto operacional até o momento que um defeito (u) oculto é identificado e o segundo estágio da identificação do defeito até a ocorrência da eventual falha (f). Assim, o *delay time modelling* concentra-se na frequência em que manutenções irão ocorrer dentro desse intervalo do segundo estágio, chamado como “ h ”, isto é, durante o período h existe uma oportunidade para identificar e evitar falha. É importante ressaltar que no dia-a-dia, as inspeções por si só podem não ser capazes de sempre revelar todos os defeitos contidos em um sistema, sobretudo porque a qualidade das inspeções depende das técnicas utilizadas, do treinamento fornecido pela organização, as regras impostas para a inspeção e também da natureza do inspetor. Por isso, a importância de focar em estudo que proponha um modelo de política de inspeção que objetive atingir o intervalo h entre a identificação de um defeito oculto e a eventual falha.

Nesse sentido, esse estudo se concentrou no entendimento da variação de defeitos e falhas que podem ocorrer em pavimentos asfálticos no Aeroporto Internacional de Recife - PE, especialmente na pista de pouso e decolagem revestida de pavimento flexível, considerando o clima predominante em cada região, principais fatores para o surgimento dos buracos, as políticas existentes para se fazer a inspeção, prevenir e controlar defeitos e falhas, sobretudo para garantir a trafegabilidade de aviões (principais usuários) e outros utentes. Desse modo, foi realizada pesquisa bibliográfica em manuais do DNIT, em normas técnicas e outros materiais que contemplassem essa questão da manutenção em pavimentos asfálticos, além de consulta ao banco de dados objetivos da Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária (Infraero) por meio do sistema Máximo de manutenção (programa de gestão estratégica e planejamento de manutenção), bem como coleta de informações subjetivas por meio do conhecimento a priori de um especialista.

De acordo com a Infraero (2016b), os defeitos que surgem com frequências são os buracos, decorrentes da ação climática e da qualidade da estrutura dos pavimentos.

2. Definir a metodologia de inspeção, prevenção e correção

Um problema pode variar de diferentes maneiras. Por isso, para que defina um processo para inspeção, prevenção ou reparo com intuito de solucionar uma problemática se faz necessário conhecer as características do sistema a ser avaliado.

3. Coleta de dados e análise dos mesmos

Essa etapa consiste em realizar a coleta de dados de inspeções realizadas, de manutenção preventiva e manutenção corretiva para em seguida analisá-los, sobretudo para verificar se são

suficientes ou não para a construção do modelo. Para de Almeida e Souza (2001), as informações sobre o comportamento probabilístico de sistemas e serviços é indispensável em decisões voltadas a manutenção. Desse modo, os dados considerados nesse estudo são:

Tabela 4.1: Dados considerados no modelo de custo

d	Downtime médio devido a inspeção, isto é, tempo de inatividade do sistema devido a inspeção
CF	Custo fixo
C_p	Custo variável por metro quadrado de buraco
λ	Taxa de chegada de defeito
τ	Tempo de Inspeção
Custo médio	
C_l	Por inspeção
C_p	Para correção de um defeito ou para evitar o surgimento de uma falha – manutenção preventiva
C_f	Para correção de uma falha – manutenção corretiva ou emergencial
C_i	Imprudências ou inconveniências, isto é, custo de penalização (multas) por deixar um defeito progredir para a uma falha

Fonte: Adaptado de Jones, Jenkinson e Wang (2009) e Muchanga (2016).

Por outro lado, para a determinação da probabilidade do sistema estar disponível foram considerados dados de tempo médio entre falhas e parâmetros de forma e escala (β e η) de Weibull (1951).

4. Utilização de dados objetivos e subjetivos:

Os dados objetivos são dados provenientes de informações advindas de registros formais da empresa (sistema interno de arquivamento de dados, sistema estratégicos de gestão, documentos técnicos, padrões internos, etc.). Os principais dados objetivos referem-se a dados de falha e inspeção, com intuito de estimar os valores dos parâmetros que podem indicar a taxa de chegada de um defeito λ e a distribuição do DTM. Por outro lado, os dados subjetivos advêm de informações com características particulares de quem os fornece, isto é, os dados subjetivos dependem da capacidade técnica de quem os fornece, por exemplo, do tipo de entrevista ou questionário aplicado, de como a entrevista é conduzida, das perguntas realizadas, entre outros fatores, ou seja, são dados dependentes da interpretação pessoal não somente de quem os mune, mas também de quem os coleta e da maneira como os mesmos são explorados. Nesse caso, foi utilizado a metodologia de inferência bayesiana para coleta de dados subjetivos por meio do conhecimento a priori de especialista. Sendo assim, destaca-se que no *delay time modelling* desse estudo foram utilizados tantos dados objetivos como subjetivos. Os dados objetivos foram provenientes de arquivos e registros do banco de dados da Infraero, sobretudo do sistema Máximo de Manutenção e outros registros peculiares.

Paralelamente a essa coleta objetiva, foram coletadas informações subjetivas por meio do conhecimento de especialistas responsáveis pela manutenção preventiva e corretiva, por meio

de pessoas envolvidas na parte de operação da manutenção dos aeroportos, gestores da manutenção, engenheiros, entre outros, com auxílio de um roteiro pré-definido com objetivo de coletar dados que pudessem estabelecer há quanto tempo a falha poderia ter sido detectada; qual a quantidade de falhas que a equipe de operação observa por hora, dias ou anos; qual o tempo que a pista do aeroporto fica inativa, em média, por causa de falhas; a quantidade de defeitos que cada equipe consegue identificar em cada atividade de inspeção; dados de como a falha pode ser descrita ou vista; e avaliação sobre a falha e o defeito, isto é, saber se a falha poderia ser evitável e como poderia ser feito. Esse roteiro pré-definido incidu em uma estruturação dos dados que iria ser solicitado e preparação para a coleta dos mesmos, isto é, definição de como a conversa ou entrevista poderia proceder, quais possíveis caminhos que essa coleta poderia percorrer, como a mesma deveria ser administrada, entre outros fatores.

5. Determinação de custos, disponibilidade, do parâmetro λ (taxa de falhas) e da função de distribuição do *delay time modelling* “f(h)”

Um parâmetro ou padrão de dados transportam informações vistas como essenciais para o processo de modelagem, sobretudo pelo potencial de orientação para avaliação de um estudo específico. Assim, por meio de um parâmetro pode ser possível que uma determinada conjuntura possa ser abrangida dentro de um apurado aspecto. Desse modo, essa etapa objetiva definir, após os dados já estiverem sido coletados e avaliados, os parâmetros que irão servir de input para o modelo e da função distribuição do *delay time modelling*. Nesse caso, a função do DTM é exponencial devido a taxa de chegada dos defeitos y dependerem exponencialmente do fator x, isto é, funções exponenciais são caracterizadas pelo fato de que ao longo do tempo seus valores dobram, no caso de exponenciais crescentes, ou diminuem para a metade, no caso de exponenciais decrescentes, num intervalo de tempo constante independentemente do valor da função num determinado instante. Em outros termos, a distribuição exponencial é geralmente utilizada para modelagens do intervalo de tempo entre ocorrências estocásticas contínuas e comumente usada para dados de reparo da falha.

Por meio de dados de manutenção preventiva e manutenção corretiva foi possível obter informações sobre custos originados das inspeções, prevenções e reparo dos buracos na pista pavimentada do aeroporto. Esses custos foram considerados de acordo com as estimativas da tabela 4.1. O custo esperado constituirá de uma aplicação de um *delay time modelling* para plantas multicomponentes.

7. Análise de Sensibilidade e elaboração da recomendação

O objetivo da análise de sensibilidade é identificar os parâmetros que são mais compassivos, isto é, aqueles que não podem ser modificados sem ter que se modificar a solução dita como ótima do problema. Assim, segundo de Almeida (2013) e Marsaro (2013), ao se tratar de um modelo, a análise de sensibilidade poderá determinar em que ponto esse é mais sensível dada a alteração de valores, procedendo em diferentes sugestões para as variáveis e a partir disso ser plausível analisar quais as formas para robustecer os dados ou parâmetros sensíveis do modelo. Ou seja, a análise de sensibilidade analisa os aspectos que podem se modificar ao variar os inputs ou constantes do modelo em relação a solução a priori exibida. A partir dessa análise é possível avaliar os resultados mediante a parâmetros percentuais de chegada de defeitos (λ), custo de manutenção preventiva (C_p) e custo de inspeção, bem como maximização da disponibilidade. Para isso, a simulação será realizada com variações percentuais para mais ou menos. A partir disso têm-se um potencial para se gerar a recomendação.

4.1.3 Conhecimento a priori de especialistas na manutenção

O uso do conhecimento a priori de especialistas na manutenção auxilia na aplicação de métodos quantitativos em um dado problema dentro de uma organização com o objetivo de analisar o desempenho de um sistema ou parâmetro para a tomada de decisões. Para isso, essa aplicação demanda o conhecimento dos parâmetros das distribuições de probabilidade que possam refletir a confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade de um sistema. É importante ressaltar que em organizações, em geral, existe várias dificuldades em se obter dados a respeito de confiabilidade e manutenibilidade que possam representar de maneira significativa e realista o sistema em questão. Os fatores dessas dificuldades de obtenção de dados devem-se por estrutura deficiente, alteração de sistema, gestão de arquivamento dos dados, surgimento de novos itens que não proporcionam referências histórias suficientes para análises, receio de exposição por parte de quem fornece os dados, entre outros fatores (FERREIRA, 2001).

Nesse estudo específico, os dados coletados de maneira subjetiva visaram complementar os dados objetivos coletados. Dessa maneira, o uso do conhecimento a priori de especialista surgiu como uma forma alternativa possível para o desenvolvimento dos estudos desse trabalho envolvendo a engenharia de manutenção. Os dados objetivos nem sempre são suficientes devido os entraves que existem para que padrões e procedimentos do setor da manutenção e da própria organização possam ser coletados e registrados da maneira adequada. Os registros, em sua maioria, se dão por ações através de ordens de serviço, porém nem sempre a coleta e o registro propriamente dito ocorrem como deveria por falta de pessoal treinado, por pressões,

por cumprimento de metas de modo artificial, por alguns serviços serem realizados por terceiro e por causa de isso não ter um controle total de qualidade desses dados coletados, etc.

Desse modo, por meio do processo de elicitación do conhecimento a priori, apresentado na seção 1.6 desse estudo, através do método dos intervalos equiprováveis, foi entrevistado um especialista em gestão da manutenção de pavimentos asfálticos em pistas de pouso e decolagens de aeródromos com intuito de complementar os dados objetivos. Para que se pudesse coletar esses dados subjetivos para aplicar o procedimento de probabilidade subjetiva foram criadas algumas perguntas de natureza quantitativa com intuito de obter parâmetros de confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade do sistema. A coleta de dados subjetivos foi realizada conforme o apêndice 1 desse trabalho.

As principais vantagens da utilização do conhecimento a priori de especialistas, segundo Ferreira (2001), se deve: a facilidade e simplicidade de interpretação dos dados devido a probabilidade subjetiva ser compreendida como o grau de crença sobre um estado da natureza; a generalidade da aplicação, já que a incerteza será sempre um elemento presente; a adequação a situações em que os dados não estão disponíveis ou não são representativos em relação a variável de interesse; ao aumento de qualidade nas inferências através da introdução de informações adicionais à aplicação. Em contrapartida, as desvantagens devem-se a imprecisão decorrente a falta de calibração das informações do especialista, as dificuldades na quantificação das informações subjetivas e a influência de emoções e/ou preconceitos na coleta devido paradigmas culturais. Ressalta-se que, se o procedimento não foi aplicado de maneira correta e precisa, assim como a informação dada é subjetiva, a forma de interpretação de quem coleta também pode ser.

Na manutenção, a utilização do conhecimento a priori de especialista tem sido muito apropriado no caso de falta de dados envolvendo tempos de manutenção, em casos onde os dados não apropriados, bem como em situações nas quais existem trocas na estrutura da manutenção onde os dados serão coletados e onde os históricos não são representativos. Por isso, o processo que usa o conhecimento de engenheiros, supervisores, gerentes e outros especialistas que detêm essas informações sobre a estrutura de manutenção estudada e seu conhecimento sobre tempos de reparo (TTR), tempo médio de reparo (MTTR), tempo entre falhas (TBF) e tempo médio entre falhas (MTBF), permite estabelecer e levantar o conhecimento a priori na manutenibilidade e disponibilidade. Assim como informações sobre falhas, tempos de manutenção preventiva e corretiva, distribuições exponenciais, Weibull ou outra permite construir conhecimentos a priori de confiabilidade ou outro parâmetro necessário.

4.2 MODELO SUGERIDO

O objetivo da modelagem de manutenção é apresentar as medidas de saída de interesse para a gestão como funções das variáveis de decisão. Em qualquer intervenção de manutenção, há uma riqueza de informações potencialmente disponíveis. Geralmente os modelos, assim como este, são construídos por meio de dados objetivos e subjetivos. Os dados objetivos são resultados direto das inspeções, isto é, quantidade de defeitos encontrados e tempos de falhas. Por outro lado, os dados subjetivos compreendem aqueles dados coletados por meio de aplicação de entrevista ou visita técnica (BAKER; CHRISTER, 1994).

Nesse caso, os dados objetivos foram coletados por meio de informações advindas do sistema interno de gerenciamento de manutenção da Infraero. Os dados subjetivos foram coletados com base no conhecimento a priori de um especialista na manutenção de pavimentos de pistas de pouso e decolagem.

4.2.1 Determinação do custo esperado

Com intuito de propor o custo esperado, foi aplicado o modelo DTM para plantas multicomponentes (planta dita como complexa), isto é, sistemas em que há o surgimento de um grande número de modos de falha. Nesses sistemas o *delay time modelling* tem suas inspeções divididas em inspeções perfeitas e imperfeitas. Na inspeção perfeita se o defeito ocorreu, então o mesmo é identificado e corrigido imediatamente durante o intervalo de tempo de inspeção. Se não tem defeito, então o mesmo não é identificado. Assim, uma inspeção perfeita consiste naquela que é atingida a cada unidade de tempo T , a um custo de C_I , demandando um tempo “ d ” (downtime) para ser realizada, onde $d < T$. Desse modo, de acordo com algumas hipóteses, o primeiro ponto de surgimento do defeito em um sistema complexo é tomado como tendo uma distribuição de maneira uniforme ou homogênea no tempo desde a última inspeção e independente de “ h ” (intervalo entre o defeito e a ocorrência de uma falha), de modo que os defeitos aparecem a uma taxa “ λ ” constante (CHRISTER, 1999).

De tal modo, para inspeções imperfeitas, Wang (2008), propõe as mesmas hipóteses consideradas por Christer (1999) para um sistema complexo, deixando de considerar apenas a parte de controle perfeito da inspeção. Isto é, na inspeção imperfeita, se o defeito existe ou não, a identificação pode ou não ocorrer através da inspeção, ou seja, os defeitos na inspeção imperfeita são identificados com uma probabilidade menor que um. Essa probabilidade é

chamada de “ r ” e consiste na possibilidade que o defeito possa ser identificado, sugerindo na existência de uma probabilidade “ $1 - r$ ” que o defeito não será ser identificado.

Diante desse contexto, para a determinação do custo esperado, foi considerado um modelo DT (delay time) de sistemas multicomponentes com inspeção perfeita e taxa de chegada de defeitos uniforme (homogênea). Sendo assim, de acordo com Jones, Jenkinson e Wang (2009), considera-se que a chegada de defeitos ocorre a uma taxa “ λ ” (1/MTBF) constante ao longo de um tempo específico, então por consequência o DTM segue uma função que se distribui exponencialmente, conforme equação:

$$f(h) = \lambda e^{-\lambda h} \quad \text{Eq. 4.1}$$

A equação 4.1 é utilizada para cálculo da probabilidade de um defeito resultante $b(t)$, isto é, quando a função de distribuição de probabilidade de um downtime $f(h)$ acompanha uma distribuição exponencial. Logo, a probabilidade de um defeito ser direcionado a ocorrência de uma falha $b(t)$ pode ser traduzida, segundo Jones, Jenkinson e Wang (2009), com a equação que segue:

$$b(T) = \int_0^T \left(\frac{T-h}{T}\right) f(h) dh \quad \text{Eq. 4.2}$$

Assim, a combinação da função de distribuição de probabilidade de um downtime $f(h)$ para a possibilidade de falha $b(T)$ resulta em:

$$b(T) = \int_0^T \left(\frac{T-h}{T}\right) \lambda e^{-\lambda h} dh \quad \text{Eq. 4.3}$$

Assim sendo, a equação 4.3 acima também pode ser expressa de maneira mais clara como:

$$b(T) = \lambda \int_0^T e^{-\lambda h} dh - \frac{\lambda}{T} \int_0^T h e^{-\lambda h} dh \quad \text{Eq. 4.4}$$

De modo que o cálculo da integral do termo inicial pela a regra da alteração de variáveis de “ h ” para “ $-\lambda h$ ”, e o segundo termo pela regra de integração por partes foi possível chegar a equação que segue:

$$b(T) = 1 + \frac{e^{-\lambda T}}{\lambda T} - \frac{1}{\lambda T} \quad \text{Eq. 4.5}$$

Ao se substituir $b(T)$ na equação do custo esperado $C(T) = \frac{KfT\{C_f b(T) + C_p[1-b(T)]\} + C_I}{T+d}$, seguindo as premissas de Jones, Jenkinson e Wang (2009), considerando uma λ de caráter uniforme (homogêneo) com uma inspeção perfeita, pela equação 4.5 $b(T)$ acima, têm-se a equação por custo esperado por cada inspeção, conforme abaixo:

$$C(T) = \frac{\left[KfT \left\{ C_f \left(1 + \frac{e^{-\lambda T}}{\lambda T} - \frac{1}{\lambda T} \right) + C_p \left(\frac{1}{\lambda T} - \frac{e^{-\lambda T}}{\lambda T} \right) \right\} + C_I \right]}{T + d} \quad \text{Eq. 4.6}$$

Nesse sentido, $C(T)$ se configura como o custo esperado por unidade de tempo de manutenção da pista, que depende do tempo T de planejamento de inspeção. Ressalta-se que C_I representa o custo de uma inspeção, isto é, o custo por hora da equipe de manutenção que realiza a inspeção $Custo_{ip}$, somado ao custo por hora do downtime da pista do aeroporto para pouso e decolagem – $Custo_d$, multiplicado pelo tempo necessário gasto nessa inspeção T_{insp} , conforme a equação 4.7:

$$C_I = (Custo_{ip} + Custo_d) \cdot T_{insp} \quad \text{Eq. 4.7}$$

Dando continuidade na compreensão de $C(T)$, evidencia-se que C_f consiste no custo médio para correção de uma falha realizada por manutenção corretiva ou emergencial.

$$C_f = C_v(falha) + F + C_i \quad \text{Eq. 4.8}$$

O custo variável para corrigir uma falha é configurado como $C_v(falha)$ e F corresponde ao custo fixo. Já C_i é o custo de imprudência ou inconveniência, isto é, resulta no custo de multas por deixar um defeito chegar a uma falha.

$$C_p = C_v(Defeito) + F \quad \text{Eq. 4.9}$$

Assim, o custo variável para a correção de um defeito é caracterizado por $C_v(defeito)$ e C_p é o custo de se fazer uma manutenção preventiva. O custo para corrigir um defeito irá depender da hipótese de que a modificação de C_v é linear em relação aos metros cúbicos, a partir de F (MUCHANGA, 2016). Assim, o custo por metro quadrado (m^2) de um buraco é dado por uma relação entre o defeito e o buraco, ou seja, uma relação do m^2 e a profundidade do buraco quando o mesmo passa de um defeito até a ocorrência de uma falha (sistema inoperante). Ressalta-se que inicialmente na etapa de inspeção ou avaliação, antes da manutenção ser executada, os buracos são medidos ou avaliados em m^2 (metro quadrado – comprimento x largura) porque só é possível obter a profundidade real do buraco ao iniciar a manutenção do mesmo. Por exemplo, um buraco que apresente inicialmente apenas 5 cm de profundidade (altura), poderá apresentar, ao executar o reparo, uma profundidade de perfuração superior.

4.2.2 Determinação da disponibilidade: probabilidade, confiabilidade e taxa de falha

Além da busca pela determinação do custo esperado, o presente estudo tem por objetivo determinar a disponibilidade do sistema. Assim, busca-se determinar a disponibilidade do

sistema, que não necessariamente implicará em um custo menor, mas sim na probabilidade desse sistema estar disponível em termos de tempo de operação.

De acordo com Barlow et al. (1965), se a confiabilidade é definida cientificamente como a probabilidade de um item executar sua função pré-definidas sob condições correspondentes, então, a confiabilidade nada mais é do que um julgamento probabilístico relacionado com a variável aleatória. Essa mesma variável aleatória determina o tempo de vida (T) de um item atrelado ao seu mecanismo de falha, assim: $R(t) = P(T > t)$.

Assim, uma distribuição de confiabilidade muito aplicada que retrata o tempo de falha ou de vida do item até a falha é a distribuição Weibull. Essa distribuição foi sugerida por Weibull (1951), consistindo em uma distribuição de probabilidade contínua.

De tal modo, se existem dados sobre os tempos de vida de um sistema, então se torna viável calcular a distribuição de probabilidade que administra o comportamento das falhas desse mesmo sistema (MONTE; DE ALMEIDA-FILHO, 2016).

4.2.2.1 Distribuição de Weibull

De acordo com Weibull (1951), a distribuição de probabilidades Weibull é bastante branda e costuma se associar a outros diferentes modelos de distribuições em função dos parâmetros que a cercam. Assim, os parâmetros β (beta) que corresponde ao formato e η (eta) que corresponde a escala de Weibull devem ser calculados para o estabelecimento da distribuição. Assim, a distribuição de Weibull (1951) pode ter sua função expressa analiticamente como:

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left[\frac{t}{\eta} \right]^{\beta-1} e \left[-\left(\frac{t}{\eta} \right)^\beta \right] \quad \text{Eq. 4.10}$$

Dessa maneira, a função confiabilidade (Reability) implica na probabilidade de um sistema ou equipamento não falhar até um tempo determinado. Essa função confiabilidade é expressa por:

$$R(t) = e \left[-\left(\frac{t}{\eta} \right)^\beta \right] \quad \text{Eq. 4.11}$$

Assim, a respectiva função da taxa de falha em Weibull é estabelecida como:

$$h(t) = \frac{\beta}{\eta} \left[\frac{t}{\eta} \right]^{\beta-1} \quad \text{Eq. 4.12}$$

Diante desses parâmetros, de acordo com Cavalcante (2011), a função (taxa de falhas) desempenha o papel de apresentar o comportamento das falhas e suas causas em relação ao

tempo. Essa relação comportamental é característica de qualquer sistema e pode ser expressa de modo direto por meio da curva da banheira. A figura expressa a curva da banheira como segue:

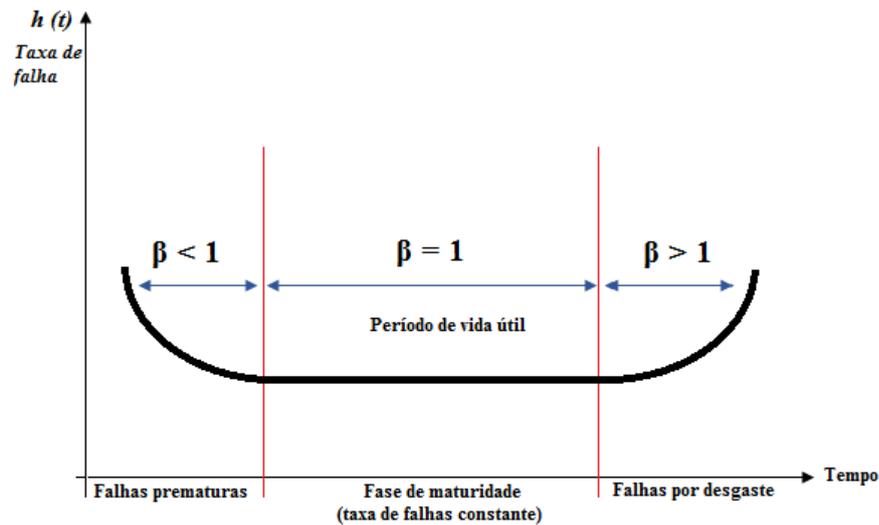


Figura 4.1: Curva da banheira

Fonte: Adaptado de Weibull (1951).

A primeira fase ($\beta < 1$) da curva da banheira corresponde a fase em que as falhas são decrescentes. Essa fase é conhecida como fase de mortalidade infantil ou fase de falhas prematuras, pois as falhas são advindas por erros de projeto estrutural, de fábrica, instalação, entre outros. A segunda etapa consiste na fase de vida útil ($\beta = 1$), onde as falhas são constantes. Essa é a fase em que o sistema foi projetado para funcionar, sendo assim a fase de operação. Nessa fase de vida útil ($\beta = 1$) as falhas são aleatórias e constantes, não tendo razão particular para a ocorrência das falhas. Esse período de falhas constantes (é a fase mais ampla da curva) é considerado o período de baixo risco de falhas, podendo ser modelado pela distribuição exponencial. Por fim, a terceira fase da curva da banheira de Weibull corresponde a fase de falhas crescentes ($\beta > 1$), implicando que as falhas ocorrem devido o sistema ou item estar no fim da sua vida útil. As falhas nessa fase final são advindas de desgaste (WEIBULL, 1951; DE ALMEIDA; SOUZA, 2001).

Essa relação de taxa constante, crescente e decrescente dentro da curva da banheira pode ser visualizada também abaixo:

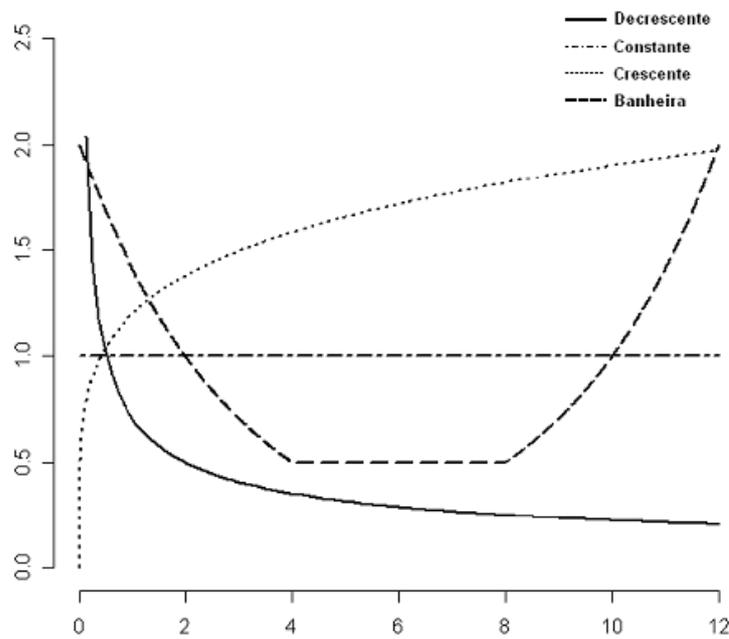


Figura 4.2: Relação de taxas de falha e curva da banheira

Fonte: HIRO, 2016.

Assim, diante desse contexto, se um sistema ou item apresenta $\beta < 1$ significa que as falhas surgem por algum motivo não desejável devido ser uma fase considerada não operacional, quando o sistema começa (início de vida útil) a desempenhar suas funções requeridas. Já o sistema encontrando-se em $\beta = 1$, significa que as falhas surgem dentro do período operacional da vida útil do sistema, por isso as falhas tendem ser aleatórias ou por qualquer outro motivo externo (qualidade da preventiva ou do material utilizado para a manutenção, forma de execução da preventiva, etc.). Por fim, quando o sistema atinge $\beta > 1$, significa que o sistema entrou em fase não operacional novamente e se encontra no término de sua vida operacional.

4.2.2.2 Distribuição Exponencial: Um caso particular da distribuição de Weibull

A distribuição exponencial é um caso peculiar da distribuição de Weibull por realizar uma tarefa fundamental na descrição de acontecimentos no campo da confiabilidade, onde a probabilidade de falha apresenta uma taxa constante. Em outras palavras, as falhas não se alteram ao longo do processo, seja no número de ocorrências por dado tempo de operação ou por tipos de ocorrência (WERNER, 1996). Segundo Meyer (2011), um sistema se torna tão bom quanto novo enquanto estiver funcionando, ou seja, se um dado trecho de um pavimento

não apresenta falhas, pode-se considerar que esse mesmo trecho está tão bom quanto novo por permitir usualidade a qualquer horário sob quaisquer intempéries. Eventos como esse pode ser modelado de maneira apropriada por meio da distribuição exponencial.

A distribuição exponencial se caracteriza por ser aplicável a taxa de falhas constantes, enquanto a distribuição Weibull costuma ser aplicada para taxa de falhas crescentes ou decrescentes. Em alguns casos, nesse estudo, será demandado operacionalizar a função densidade probabilidade (fdp) exponencial com a função de Weibull com intuito de uniformizar a notação.

Assim, conforme de Almeida e Souza (2001), a função de densidade probabilidade é apresentada como:

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad \text{Eq. 4.13}$$

E o valor esperado de t ou média de t é expresso por:

$$E(t) = \int_0^{\infty} t f(t) dt = \frac{1}{\lambda} \quad \text{Eq. 4.14}$$

De modo que o tempo entre ou até a falha é uma função derivada do fator taxa de falhas. Desse modo, o valor esperado do tempo entre falhas é formalmente chamado, no caso de modelos advindos de distribuição exponencial, de tempo médio entre falhas (MTBF), conforme segue:

$$E(t) = \frac{1}{\lambda} = MTBF \quad \text{Eq. 4.15}$$

O MTBF é o inverso da taxa de falhas no modelo exponencial, ou seja, não há falhas por desgaste nesse caso. Ou seja, no caso da pavimentação asfáltica, significa que modelos exponenciais expressam que as falhas ocorrem por motivos aleatórios como manutenção preventiva ineficiente, erros de execução na preventiva, carga sobre o pavimento acima do peso projetado, entre outros, e não necessariamente porque o pavimento está no final de sua vida útil.

4.2.2.3 Disponibilidade

Um sistema qualquer que esteja em operação estará sempre sujeito ao surgimento de falhas. A ocorrência dessas falhas estará sujeita a uma probabilidade que tem como função a distribuição de probabilidade Weibull de parâmetro de forma igual a β (CASSADY; KUTANOGLU, 2003).

A disponibilidade é aplicada somente em sistemas que podem ser reparados, assim, conforme de Almeida *et al.* (2015), um sistema ou um item dele estará disponível se apresentar

uma confiabilidade elevada (baixo risco de falhar) e uma manutenibilidade eficiente (quando houver falhas, o sistema ou item será ou poderá ser reparado imediatamente).

De tal modo, assume-se nesse estudo que a manutenção preventiva executada pela a equipe de manutenção do instrumento estudado restaure os trechos pavimentados de modo que seja possível retornar a usabilidade e trafegabilidade como antes. Assim como, em casos de falhas, que a manutenção corretiva possa substituir os trechos necessários por materiais novos, retornando o trecho restaurado como era antes. Contudo, é importante ressaltar que manutenções em pequenos trechos de pavimentos asfálticos não irão fazer com que um sistema ou pista como um todo volte a ser “tão bom quanto novo” (a não ser em casos em que a manutenção seja em toda a pista), mas sim que o trecho que foi reparado volte a proporcionar usabilidade e condições de tráfego tão bom quanto antes.

Assim, por meio de uma política de manutenção por tempo pode se observar que a manutenção preventiva assim como as inspeções objetivam atuar sobre os defeitos, devendo serem realizadas após um intervalo T (τ) de tempo de operação sobre o pavimento. Se a manutenção preventiva pode restaurar o sistema, então esse processo pode ser modelado de maneira recorrente durante a operação, ao final de cada manutenção preventiva ou após as inspeções perfeitas indicarem a incidência de um defeito (manutenção preventiva) ou após a ocorrência da falha (manutenção corretiva).

Diante desse contexto, observa-se que a manutenção corretiva é aplicada somente quando não há atuação sobre os defeitos e por consequência, a falha ocorre. Desse modo, a ocorrência de falhas está sujeita a uma probabilidade, assim como há a probabilidade do sistema ou trecho continuar oferecendo trafegabilidade normalmente até que a próxima preventiva seja executada ou até que as inspeções identifiquem um defeito antes da amplitude que leve a uma falha.

Portanto, um sistema está em operação, ou está em manutenção preventiva (no caso de alguns pavimentos podendo continuar a operação normal, pois a manutenção será executada apenas em pequenos trechos que não impedirão a trafegabilidade ou durante janelas de baixa ou ausente operação por falta de tráfego) ou está em manutenção corretiva.

Sendo assim, a disponibilidade de um sistema pode ser calculada pelo tempo total de operação menos o *downtime*, ou seja, operação pelo tempo que a pista ou trecho ficou inativo. Dessa maneira, para determinar a disponibilidade demanda-se determinar primeiro o *downtime*. Assim, as variáveis que incorporam ao modelo correspondem a τ (T), que consiste no período de inspeção; do *downtime* corresponde a d , que é a quantidade de tempo necessário para que uma inspeção ou ação preventiva retorne o sistema para o estado de operação. O *downtime*

devido a um dano ou reparo é caracterizado como d_b db; e a taxa de chegada de defeitos por unidade de tempo corresponde a K_f . Além dessas variáveis, utiliza-se também dados de breakdown – $b(T)$, conforme Equação 4.2 e, a taxa de falha λ (JONES; JENKINSON; WANG, 2009). Portanto, o modelo do *downtime* baseia-se nos pressupostos de Christer e Waller (1984), Christer e Redmond (1992) e de Jones, Jenkinson e Wang (2009):

$$D(T) = \frac{d + K_f T b(T) \cdot d_b}{T + d} \quad \text{Eq. 4.16}$$

A partir dos dados acima, pode-se calcular a equação da disponibilidade (JONES; JENKINSON; WANG, 2009):

$$A(\tau) = 1 - D(T) \quad \text{Eq. 4.17}$$

Nesse caso, deve ser observado que a expressão acima satisfaz a um estimador de disponibilidade probabilístico válido para eventos em que o sistema possa estar disponível em um dado instante t sob condições predeterminadas. Assim sendo, no caso de um aeródromo, subte-se que para uma pista de pouso e decolagem não é necessário renovar toda a pista para se fazer uma ação de manutenção ou de um buraco, pois essa manutenção pode ser realizada por partes.

Deste modo, conforme Monte e de Almeida-Filho (2016), para estimar a disponibilidade não se deve deixar de considerar que uma manutenção corretiva só ocorre por surgimento de uma falha, ou seja, por questão de probabilidade. O surgimento dessa falha estará sujeito a uma distribuição probabilística. Ao mesmo tempo, existe também a probabilidade de a operação permanecer normal sem ocorrência de falhas, apenas ocorrendo intervenção em casos preventivos com intuito de atuar sobre os defeitos.

5 PAVIMENTAÇÃO EM AERÓDROMO: UM ESTUDO DE CASO

O que difere pavimentos asfálticos de aeródromos de pavimentos rodoviários é a estrutura do pavimento, a amplitude da carga aplicada no revestimento, a largura e pressão exercida dos pneus, as características dos trens de pouso, a posição gravitacional do centro da aeronave, a geometria e, sobretudo a quantidade de repetições de carga que é aplicada nas mesmas seções do revestimento asfáltico (QUIRINO, 2013).

De acordo com Goldner (2012), cerca de 95% do peso bruto de uma aeronave é suportado pelo trem de pouso principal. Apenas 5% do peso é carregado pelo trem de pouso frontal.

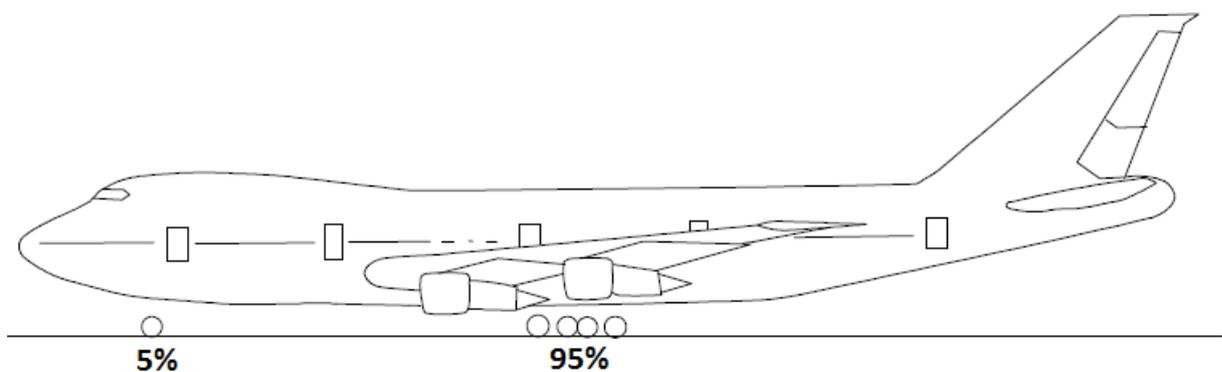


Figura 5.1: Balanço da divisão de cargas de trens de pouso de aeronaves

Fonte: Goldner, 2012.

Os principais tipos de trens de pouso de aeronaves podem ser observados:

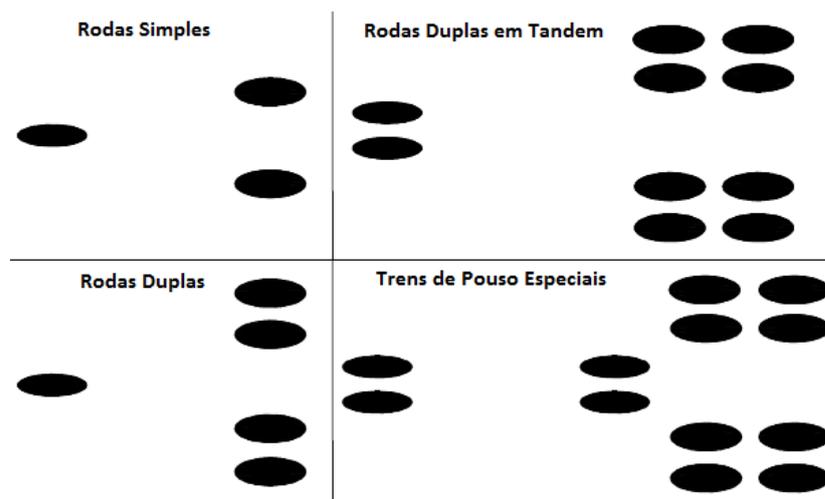


Figura 5.2: Diferença entre trens de pousos de aviões

Fonte: Adaptado de Goldner, 2012.

Desse modo, de acordo com Cavalcante (2011), a manutenção concentra-se em garantir que a disponibilidade de equipamentos e sistemas atinja níveis satisfatórios, com a finalidade de assegurar uma resposta aos investimentos realizados, bem como aumentar a vida útil dos mesmos, garantindo prontidão funcional para todos os sistemas demandados para utilização, seja de caráter rotineiro ou emergencial. Além disso, visa assegurar segurança a todas as pessoas que fazem uso das instalações desse mesmo sistema.

Assim sendo, garantir que um sistema esteja disponível em qualquer época do ano sob qualquer condição climática, considerando a relação de custo tem sido uma condição impetrante. Diante desse contexto, esse estudo concentra-se em manutenções de pavimentos asfálticos, visando aplicar o *delay time modelling* na manutenção do pavimento asfáltico da pista de pouso e decolagem do Aeroporto Internacional dos Guararapes/Recife – Gilberto Freyre, considerando custo e disponibilidade.

De tal modo, evidencia-se que *delay time modelling* é uma ferramenta de modelagem criada para modelar problemas de manutenção vinculados a inspeção e intervenções de manutenção preventiva, ou seja, o DTM concentra-se no intervalo entre a identificação de um defeito oculto até a ocorrência da falha. Esse estudo visa modelar um tempo ótimo de inspeção, de maneira que possa ter o potencial para garantir que defeitos ocultos sejam identificados antes da falha por meio da inspeção perfeita, com intuito de reduzir custos com manutenções corretivas e sistema inoperante.

5.1 CARACTERIZAÇÃO DO AEROPORTO INTERNACIONAL DO RECIFE

O Aeroporto Internacional do Recife/Guararapes – Gilberto Freyre teve sua denominação atual no ano de 2001, por meio da instituição da Lei nº 10.361. Do ano 1948 a 2000, o aeroporto era denominado como Aeroporto de Guararapes em referência a Batalha dos Guararapes, ocorrida no período colonial brasileiro. O Aeroporto Internacional do Recife/Guararapes de código nacional REC (IATA) e internacional SBRF (ICAO) está localizado na cidade de Recife, estado de Pernambuco, instalado a um sítio aeroportuário de 4.229.140,40 m², sendo de 110.526 m² a área destinada ao pátio das aeronaves, com posições de estacionamento para 21 aeronaves de grande porte para a aviação comercial, 12 posições para aeronaves de médio destinado a aviação geral e 12 hangares destinados a aviação executiva. O terminal de passageiros está construído sobre uma área de 52.000 m², com 64 balcões destinados para check-in e 12 esteiras de processamento de bagagem. O aeroporto tem como ponto de referência as coordenadas

geográficas de latitude 08° 07' 35" S e longitude 34° 55' 22" W e apresentando uma altitude de 10 metros.

O aeroporto passou ser administrado em janeiro de 1974 pela Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária – Infraero e atualmente opera voos internacionais e domésticos 24 horas por dia ou conforme seu pleito, com capacidade para atender uma demanda anual de 16,5 milhões de passageiros.

Atualmente, as companhias aéreas que operam regularmente com voos nacionais e internacionais no Aeroporto de Recife são: Avianca Brasil (Airbus A319 e A320), Azul Linhas Aéreas (ATR 72-600, Embraer 190, Embraer 195 e Airbus A330-200), Copa Airlines (Boeing 737-700 e Boeing 737-800), Condor Airlines (Boeing 767-300ER), Gol Linhas Aéreas (Boeing 737-700 e Boeing 737-800), LATAM Airlines Brasil (Airbus A319, Airbus A320, Airbus A321 e Boeing e67-300ER), Meridiana (Boeing 767-200ER e Boeing 767-300ER), TACV (Boeing 757-200) e TAP (Airbus A330-200 e Airbus A340-300). As companhias que operam no terminal de cargas do Aeroporto de Recife são ABSA – Boeing 767-300ERF, Azul Cargo – ATR 72-500F, Cargolux – Boeing 747-400F, Colt Cargo – Boeing 737-400F e Boeing 757-200F, Sterna Linas Aéreas – Airbus A300F e TAM Cargo – Boeing 767-300ERF (INFRAERO, 2016a).

O aeroporto está concentrado em uma área de clima tropical Atlântico, com temperatura média anual de 26° C. As precipitações médias anuais são de quase 1.500 mm, constituindo os meses de setembro a fevereiro como os mais secos do ano, e o período de março a agosto considerados os meses com maior umidade no ano, com chuvas de 390 mm por mês.

Diante desse quadro de grandes variações térmicas, observa-se o desafio da manutenção dos pavimentos asfálticos no aeroporto, já que o local onde está instalado é dividido em um período de 6 meses de chuva intensa e a outra metade do ano com o tempo seco.

Desse modo, o complexo aeroportuário de Recife – PE pode ser observado por meio da figura exposta abaixo:



Figura 5.3: Pista de pouso e decolagem, taxiways e visão geral do Aeroporto Internacional de Recife.

Fonte: Google Maps, 2015.

O sistema aeroportuário de Recife é caracterizado por uma pista de pouso e decolagem (*Runway - RWY*) principal em pavimento flexível na orientação (bússola) 18/36R (right), com 3.007 m de comprimento e 45 m de largura; com duas pistas taxiways principais, análogas à pista de pouso e decolagem, sendo que a taxiway intitulada como Delta acolhe quase toda demanda da área militar do aeroporto e a taxiway Mike, atende a aviação comercial, abrangendo os terminais de cargas e de passageiros. Além das pistas de taxiamento e da pista de pouso e decolagem, o terminal de passageiros e todos os outros componentes que completam o complexo aeroportuário de Recife são revestidos de pavimentos asfálticos, segundo a Infraero (2016a).

Em geral, as pistas (Runways) de pouso e decolagem se apresentam da seguinte maneira:

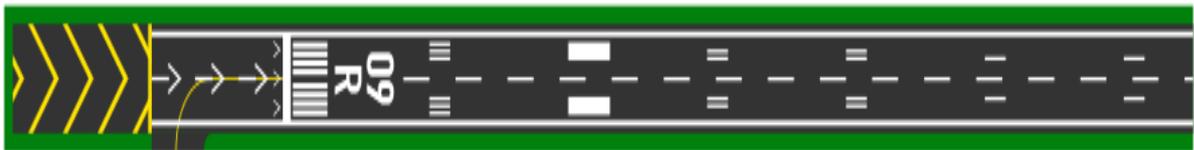


Figura 5.4: Características de uma pista de pouso e decolagem.

Fonte: Voo Virtual (2015).

Uma pista oficial, em condições normais, é sempre delimitada por meio de marcas, linhas centrais e números. A área marcada em amarelo é chamada de blast pads (“amortecedor” de explosão) e tem uso somente em pousos de emergência. A superfície dessa aérea de emergência costuma ter uma coloração diferente (mais clara) do que a pista principal. Após a essa região amarela existem os limiares deslocados (setas) que são locais antes da pista utilizado para taxiamento (rolagem de uma aeronave no solo) e não recomendado para sofrer impactos de

posou. Após os limiões existem a cabeceira de pista e posteriormente a pista principal, marcada com linhas centrais e destinadas para receber os impactos contínuos de pouso ou decolagem.

Atualmente, no Brasil, existem 1929 aeródromos privados e 630 aeródromos públicos. Dos 630 aeródromos públicos, 66 deles são administrados pela Infraero (ANAC, 2016).

Esse estudo de caso foi baseado em dados referente aos anos de 2014 e 2015. De acordo com os relatórios anuais da Infraero (2016c) dos respectivos anos, o Aeroporto Internacional de Recife/Gilberto Freyre (layout completo no anexo 1) nos respectivos anos teve como destaque o nível de satisfação dos clientes, fechando em 87,1% em 2015, configurando como um dos três melhores aeroportos do Brasil na visão de passageiros. Em 2014 houve a implantação do Projeto Eficiência Operacional e alcance de 95,77% do mesmo. O ano de 2015 se destacou pela reforma e recuperação do trecho central da pista do aeroporto, pelos estudos de ruído desenvolvidos e pela obtenção de 98,13% de Índice de Eficiência Operacional (IEOP).

5.2 POLÍTICA DE MANUTENÇÃO DO AEROPORTO INTERNACIONAL DE RECIFE

O Aeroporto Internacional de Recife/Guararapes tem sua política de manutenção baseada nos regulamentos da Agência Nacional da Aviação Civil (ANAC) e nos procedimentos internos da Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária (Infraero). A Infraero, nos aeroportos que em que opera, é a responsável pelo planejamento e execução dos procedimentos exigidos pela a ANAC. Os principais itens exigidos no regulamento brasileiro da aviação civil (RBAC) em relação a manutenção de aeroportuária corresponde ao estabelecimento e implementação de um sistema de manutenção com infraestrutura aceita pela a ANAC, sendo capaz de manter condições físicas e operacionais dentro dos padrões estabelecidos. Além disso, um sistema de manutenção aeroportuária como o de Recife precisa permitir que haja continuidade (disponibilidade) nas operações do aeroporto dentro de um grau adequado de segurança operacional (ANAC, 2012).

Em relação a pavimentação aeroportuária, as áreas que são obrigatórias ser pavimentadas dentro de um complexo aeroportuário são: pista de pouso e decolagem; pistas de táxi e pátios de estacionamento das aeronaves; vias de circulação de veículos, equipamentos e pessoas. Portanto, a Infraero, como operadora do aeródromo de Recife, precisa manter os pavimentos em condições operacionais visando uma operação apropriada e segura de aviões, pessoas, equipamentos aeronáuticos e veículos em geral.

Além dos regulamentos da RBAC, existe uma certificação operacional de aeroportos que comprova a capacidade do operador do aeródromo em realizar os procedimentos que constam no Manual de Operações do Aeródromo (MOPS). O MOPS consiste em um documento que contém as condições, padrões e descrições de procedimentos necessários para obtenção da certificação. De maneira geral, o MOPS trata-se de uma ferramenta que a ANAC utiliza para forçar que a Infraero ou outro operador de aeródromo analise os riscos contidos em sua operação e demonstre que se encontra em um grau mínimo de segurança e disponibilidade (ANAC, 2016).

Para garantir os procedimentos mínimos exigidos para que se possa ter uma adequada operação aeroportuária de acordo com os parâmetros internacionais, atualmente, o Aeroporto Internacional de Recife tem sua política de manutenção de pavimentos toda baseada nos processos determinados pelo MOPS e pela RBAC. O aeroporto atualmente é certificado operacionalmente pela ANAC.

Em relação a pavimentação da pista de pouso e decolagem, a Infraero visa manter o aeródromo em condições operacionais com foco na resistência a derrapagem, à integridade dos equipamentos aeronáuticos, ao controle direcional das aeronaves, buscando atender parâmetros relacionados ao pavimento como estrutura e funcionalidade, defeitos no pavimento, desníveis ou deformações, irregularidade longitudinal, atrito, macrotextura e acúmulo de borracha, conforme ANAC (2012). No caso do surgimento de defeitos ou falhas especificamente, a Infraero busca adotar ações ou novas políticas de manutenção de modo que possam garantir segurança nas operações e disponibilidade ao mesmo tempo ao menor custo possível. Desse modo, em caso de redução dessa disponibilidade ou de indisponibilidade total na pista de pouso e decolagem, é aberto um Notam que consiste em uma informação aos pilotos e companhias aéreas, contendo todas as informações necessárias para que as operações de transporte aéreo ocorram com segurança e eficiência.

5.3 ANÁLISE DOS DADOS

5.3.1 Dados objetivos

As variáveis são caracterizadas como uma medida ou uma avaliação de elementos de uma amostra ou população. Nesse sentido, os dados analisados nesse estudo tratam de variáveis

contínuas por resultarem em dados coletados por meio de medidas realizadas, nesse caso, o tempo e o custo relacionado com profissionais para a realização das manutenções.

Os dados apresentados nos campos abaixo derivam de coletas realizadas pelo setor de manutenção da Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária (Infraero). Os dados são provenientes de arquivos do sistema interno de manutenção da Infraero, aos quais foram exportados em planilhas do Microsoft Excel contendo informações de todas as manutenções preventivas e corretivas realizadas nos anos de 2014 e 2015 no Aeroporto Internacional do Recife/Guararapes. As amostras coletadas nos dois anos foram unidas para que os dados pudessem ter um volume maior, suficientes para gerar uma análise adequada, em termos estatísticos. Foram mais de 1400 de amostras coletadas (informações sobre as manutenções) nesse período, sendo que esses dados foram divididos em subgrupos que continham características semelhantes, fundamentos sobre bases estatísticas. Em outras palavras, os subgrupos foram criados a partir de um grupo de um número maior de elementos (manutenções preventivas), em subgrupos compostos pelos itens análogos ou com propriedades e/ou medidas similares. Ao todo foram gerados 15 subgrupos diferentes de manutenções preventivas, tendo o tempo como variável analisada, de modo que grupos contendo $n < 20$ foram desprezados por não representarem de maneira significativa as análises impetradas. Em compensação, as manutenções corretivas foram heterogêneas. Assim, foram realizadas em torno de 70 manutenções corretivas nesses dois anos, cada uma com uma particularidade, equipamento ou local diferenciado.

5.3.1.1 Análise dos dados de manutenções preventivas

Para estratificar ainda mais a análise dos dados, primeiramente é evidenciado o MTTR (tempo médio de reparo) de cada subgrupo e o total, bem como o TTR (tempo de reparo) de cada subgrupo. Após esse processo, é expresso uma análise estatística de comparação das amostras pertencentes a cada grupo por meio do teste de Kruskal-Wallis. É importante destacar que todos os tempos considerados nessa análise foram convertidos em horas decimais.

Para que pudesse ser verificado a efetividade do conjunto de dados dos subgrupos, foi inicialmente realizado o cálculo do coeficiente de variação de Pearson, que consiste em uma medida de dispersão, estimando a precisão e variabilidade dos dados dentro de um conjunto. Assim, se os dados têm uma baixa dispersão, significa dizer que seu coeficiente de variação é menor que 10% ou que os dados são considerados excelentes para o ensaio. Coeficiente de

variação (CV) de 10 a 20% representam média dispersão ou dados relativamente bons; de 21% a 30% representam dados ruins ou de alta dispersão e CV acima de 30% correspondem a dados ditos como péssimos ou que de maneira geral sugere-se que não devam ser utilizados (VIRGILLITO, 2006). Posteriormente a esse procedimento, foi identificado os *outliers* (pontos fora da curva), de modo que pontos confirmados como *outlier* foram retirados do conjunto de dados. Vale ressaltar que em geral esses pontos fora da curva foram tempos de manutenções especiais, isto é, manutenções realizadas por ocorrências eventuais (exemplo: uma a duas vezes por ano) e que não representam o conjunto de dados. Sendo assim, a partir dessas etapas, foi possível trabalhar com os dados para a construção do TTR e MTTR.

Todos os subgrupos de manutenções ou atividades preventivas integram ao Manual de Operações do Aeródromo (MOPS). O MOPS se trata de um documento exigido para a obtenção do Certificado Operacional de Aeroportos. Esse documento considera os padrões, condições e descrições dos procedimentos que devem ser executados pelo operador de aeródromo na prestação de serviço com intuito avaliar a segurança operacional e outros aprovisionamentos administrativos (ANAC, 2012). Ou seja, os dados expostos aqui fazem parte de um dos requisitos da certificação e contempla o grupo de atividades do manual de operações do aeródromo.

Desse modo, o primeiro subgrupo de manutenções preventivas refere-se as manutenções de pavimento asfáltico na pista de pouso e decolagem 18/36. A pista de pouso e decolagem 18/36 é a pista principal e é composta por pavimento flexível. Esse subgrupo teve um coeficiente de variação de 25%, com uma dispersão relativamente alta, porém, compreensível, já que a manutenção dos pavimentos na pista de pouso e decolagem variam de acordo com o tipo de buraco ou deterioração, tamanho e tempo disponível para a execução do serviço. As manutenções nos pavimentos da pista de pouso e decolagem nos anos de 2014 e 2015 totalizaram 227,78 horas de tempo de reparo (TTR), com um desvio-padrão de 0,124 e MTTR de 0,50 horas. Assim, foram realizados cerca de 455 reparos em 24 meses, cerca de 19 por mês, sendo 30 minutos cada. Os custos variáveis de horas profissionais para esses reparos foram de 11.968,61 reais. Além disso, nesses dois anos foram somados 2.400,55 reais de custo fixo.

O segundo subgrupo corresponde as inspeções realizadas na pista de Táxi Mike. Táxi Mike corresponde a uma taxiway (faixa de pista) em que as aeronaves podem rolar (taxiar) de um terminal, hangar ou pista para outra. A faixa de pista intitulada Táxi Mike do aeródromo de Recife atende a aviação comercial, incluindo os terminais de cargas e de passageiros. É importante destacar que pistas de táxis tem como objetivo principal diminuir o tempo de

ocupação da pista de pouso nos processos de chegada. As inspeções na faixa de pista Táxi Mike somaram nos dois anos (2014 e 2015) um TTR de 33,52 horas preventivas a um custo de h/profissional de 1.897,98 reais e coeficiente de variação de 22%. O número de amostras foram de 68, com 0,83 horas de tempo máximo de inspeção (50 minutos), sendo que o MTTR foi de 0,49 hora, com 0,110 de desvio-padrão.

O terceiro subgrupo representa as manutenções em pavimentos asfálticos do pátio 02 do TPS-2, que também segue as normas do Manual de Operações do Aeródromo. Um TPS consiste em um terminal de passageiros, configurando uma conexão entre o acesso viário (terra) e o acesso aéreo (ar) do aeroporto, isto é, faz a interface entre os transportes terrestres utilizados para acesso ou saída de passageiros e o transporte aéreo, conforme pode ser observado:

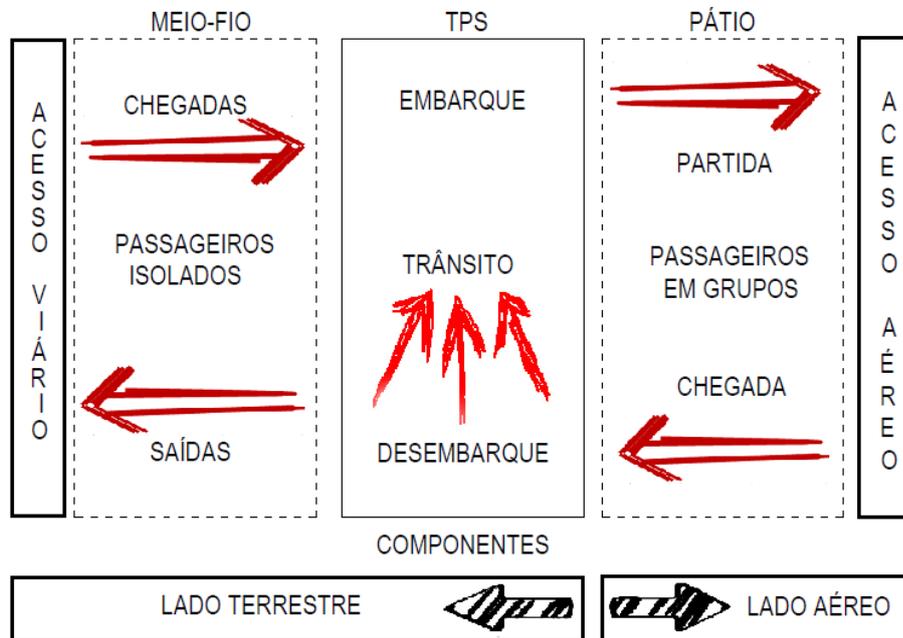


Figura 5.5: Esquema de um TPS – Terminal de Passageiros de um aeroporto

Fonte: Adaptado de Goldner (2012).

Assim, foram analisadas 186 manutenções nos pavimentos asfálticos no pátio 02 do TPS-2, com MTTR de 1,29 horas, apresentando desvio-padrão de 0,387 e TTR total de 240,52 horas.

As manutenções em pavimentos asfálticos do pátio 05 da aviação geral (hangares, etc.) correspondem ao quarto subgrupo. Essas manutenções, somando os anos de 2014 e 2015, totalizaram (TTR) 57,12 horas, com um tempo médio de reparo de 0,28 horas para os 201 dados considerados e uma dispersão em relação a média de 0,092. No total foram gastos 3.343,90 reais com custos de pessoal especializado.

Por outro lado, as ações de reparo no pátio do terminal de passageiros 02 teve um custo variável com pessoal de 952,54 reais para um TTR total de 24,12 horas ($n = 42$). O MTTR das manutenções dos pavimentos do pátio do terminal 02 foi de 0,57 horas, com dispersão em relação à média (desvio-padrão) de 20,6%.

As manutenções no pátio de aeronaves com pavimento flexível correspondem ao sexto subgrupo de reparos, com um TTR de 2014 e 2015 de 76,33 horas e MTTR de 0,30 hora. A dispersão em relação à média dos tempos de reparo foi de 17%. Os reparos nos pavimentos flexíveis do pátio das aeronaves tiveram um custo variável de hora profissional de 2.056,11 reais. Além disso, totalizou 15.294,98 reais de custo fixo, configurando como o maior custo fixo dentre as ações de reparos de todos os subgrupos.

As principais características de pavimentos rígidos são a durabilidade, resistência, baixo custo de manutenção, temperatura superficial a um nível baixo, entre outras propriedades. As ações de reparo nos pavimentos rígidos do pátio das aeronaves em 2014 e 2015 somaram 4.409,42 reais de custo variável, sem custo fixo adicional. O TTR total foi de 31,20 horas, com 11,20 horas adicionais de preparação para o reparo. O MTTR foi de 0,38 hora, com desvio-padrão total de 15,1%.

Nas pistas de táxi com pavimentos flexíveis (oitavo subgrupo) foram realizados 56,87 horas de reparo total (TTR), a um custo total (fixo e variável) de 5.067,21 reais e MTTR de 0,75 hora.

Além das manutenções ou ações de reparo realizadas diretamente nos pavimentos, existe as varrições mecanizadas que tem por objetivo executar a limpeza da área pavimentada, com a retirada de resíduos, sujeiras em geral e/ou corpos estranhos com a finalidade de garantir uma maior disponibilidade das operações. Foram considerados varrições mecânicas de quatro locais, tendo um custo variável médio de 1.800 reais para cada conjunto. De tal modo, o nono subgrupo corresponde a varrição mecânica da aviação geral, abrangendo os hangares do pátio da aviação geral. O tempo total foi de 56,78 horas e o tempo médio de 2,47 horas. O tempo máximo para uma ação de varrição foi de 3,42 horas e o mínimo de 2 horas, isto é, a dispersão em relação a média foi de 0,484 e o coeficiente de variação de 20%.

Em contrapartida, a varrição mecânica no pavimento da cabeceira 18 (coordenadas: 8°6'50"S 34°55'38"W) pertence ao 10º subgrupo e teve um total de 71,85 horas de varrição, 73,97% abaixo do previsto (125 horas), com um custo variável de pessoal de 1.854,62 reais. É importante ressaltar que uma cabeceira corresponde as extremidades de uma pista de pouso ou decolagem, satisfazendo a direção predominante do vento em rumos magnéticos, que vão de 01

a 18 ou 19 a 36. Assim, um piloto, quando autorizado, ao entrar em uma pista e ler na bússola do avião 176° ou 180° ao Sul, será o mesmo que dizer que o seu avião está alinhado na pista ou cabeceira 18, ou ao rumo magnético de 180° . A cabeceira oposta sempre será 180° da outra, nesse caso, uma cabeceira sendo 18, a oposta será 36 (FAB, 2016). De maneira geral, a cabeceira é uma área pavimentada, a qual admite que aviões de grande porte façam curvas com velocidade baixa para alinhar-se com a pista de decolagem ou, pode ser utilizada como extensão da pista de pouso, em casos de emergência. Abaixo segue figura da cabeceira 18 e 36 da pista do Aeroporto Internacional do Recife/Guararapes:



Figura 5.6: Cabeceira 18 e 36 da pista de pouso e decolagem do Aeroporto Inter. de Recife

Fonte: Google Maps, 2016.

Assim, foram realizadas 25 varrições nesses dois anos, cerca de 2 varrições por mês. As varrições mecânicas nos pavimentos de concreto do pátio principal correspondem ao décimo primeiro subgrupo, que obteve durante os anos de 2014 e 2015 um total de 82,23 horas de serviço (27,69%). O coeficiente de variação dos dados analisados foi de 12%, com desvio-padrão de 0,458 e tempo médio de 3,92 horas por varrição.

O décimo segundo subgrupo e último corresponde as atividades de varrição mecânica em pavimentos de concreto protendido. Esse efeito de protender faz com que o concreto tenha uma resistência máxima em relação à tração, sobretudo em casos onde há esforços de flexão de maneira elevada, ou seja, consiste num tratamento de tensão aos cabos de aço utilizados, antes que a massa do concreto possa se solidificar. Assim, a varrição mecânica em pavimentos de concreto protendido resultou em 54,75 horas de serviço, 15,98% acima do estimado para os anos de 2014 e 2015, a um tempo médio de execução de 2,38 horas, totalizando 23 serviços.

Diante do contexto exposto acima, visando demonstrar os dados de uma maneira mais clara, abaixo é apresentada uma relação sucinta dos tempos médios de reparo (MTTR) e tempos de reparo totais (TTR) em horas normais:

Tabela 5.1: Tempos de reparo

Subgrupos	Descrição dos Reparos	TTR total	MTTR	N
1	MOPS – Manutenção de Pavimento Asfáltico - Pista de pouso e decolagem 18/36	227:47	0:30	455
2	MOPS - Inspeção diária Táxi Mike	33:31	0:29	68
3	MOPS – Manutenção de Pavimento Asfáltico - Pátio 02 do TPS-2	240:31	1:17	186
4	MOPS – Manutenção de Pavimento Asfáltico - Pátio 05 da Aviação Geral	57:07	0:17	201
5	MOPS – Manutenção de Pavimento Asfáltico - Pátio do Terminal de passageiros 02	24:07	0,57	42
6	MOPS – Manutenção - Pátio de Aeronaves (Pavimento Flexível)	76:20	0:18	253
7	MOPS – Manutenção - Pátio de Aeronaves (Pavimento Rígido)	31:12	0:23	82
8	MOPS – Manutenção - Pistas de Táxi (Pavimento Flexível)	56:52	0:45	76
9	MOPS - Varrição Mecânica - Aviação Geral	56:47	2:28	23
10	MOPS - Varrição Mecânica - Pavimento da Cabeceira 18	71:51	2:52	25
11	MOPS - Varrição Mecânica - Pátio principal (Pavimento de Concreto)	82:14	3:55	21
12	MOPS – Varrição Mecânica - Pavimentos de Concreto Protendido	54:45	2:23	23

Fonte: Infraero (2016b).

Em cada grupo de reparos foi exposto o total de horas, bem como o tempo médio de reparo. É importante ressaltar que o tempo médio de 30 minutos para reparo da pista de pouso e decolagem, foco desse estudo, indica apenas o processo de execução da manutenção em si, pois ao levar em consideração o tempo de preparação de material e entrada na pista após liberação da torre de comando esse tempo sobe para 1 h e 30 minutos.

Desse modo, observa-se que o sistema como um todo (multicomponente) totalizou em 2014 e 2015 aproximadamente 1.013 horas de reparos, cerca de 1455 reparos, cerca de 60 por

mês. Contudo, para especificar ainda mais as diferenças observadas nos tempos de reparos buscou-se analisar os tempos de maneira separada. Para isso, foi realizado o teste de Kruskal-Wallis para os 8 primeiros subgrupos e posteriormente para os subgrupos 9, 10, 11 e 12 por se tratar de medidas preventivas para conservação dos pavimentos e efetividade das operações de pouso e decolagem com uma certa diferença dos oito primeiros subgrupos. Além disso, foi realizado uma análise gráfica por meio do Box Plot para visualização dos resultados (quartis).

O teste de Kruskal-Wallis é um teste não-paramétrico também conhecido como por sua equivalência ao teste da ANOVA de um fator, porém sem restrições quanto as amostras, tendo como principal objetivo verificar se as distribuições dos subgrupos de serviços apresentam uma distribuição igual. Assim, a hipótese nula (H_0) para o teste, busca evidenciar que todos os subgrupos (1 a 8) possuem funções de distribuição iguais. A hipótese alternativa (H_1), busca provar que as funções de distribuição de pelo menos dois subgrupos são diferentes. No segundo teste, a hipótese nula (H_0) tem por objetivo provar que as funções de distribuição (9 a 12) são iguais e a hipótese alternativa (H_2) evidenciar que as funções de distribuições são diferentes (subgrupo 9 a 12). Os dois testes consideraram um grau de significância de 5%.

Desse modo, o teste de Kruskal-Wallis para os subgrupos de 1 a 8 culminou em uma estatística teste de 774,526, com 8 graus de liberdade e *p-valor* menor do que 5%. Assim, rejeita-se H_0 (hipótese nula) de que as funções de distribuição dos subgrupos são iguais e aceita a hipótese alternativa (H_1) de que pelo menos dois subgrupos são diferentes em sua distribuição.

Na figura abaixo pode ser observado a variação dentre os oitos subgrupos e as respectivas tendências centrais.

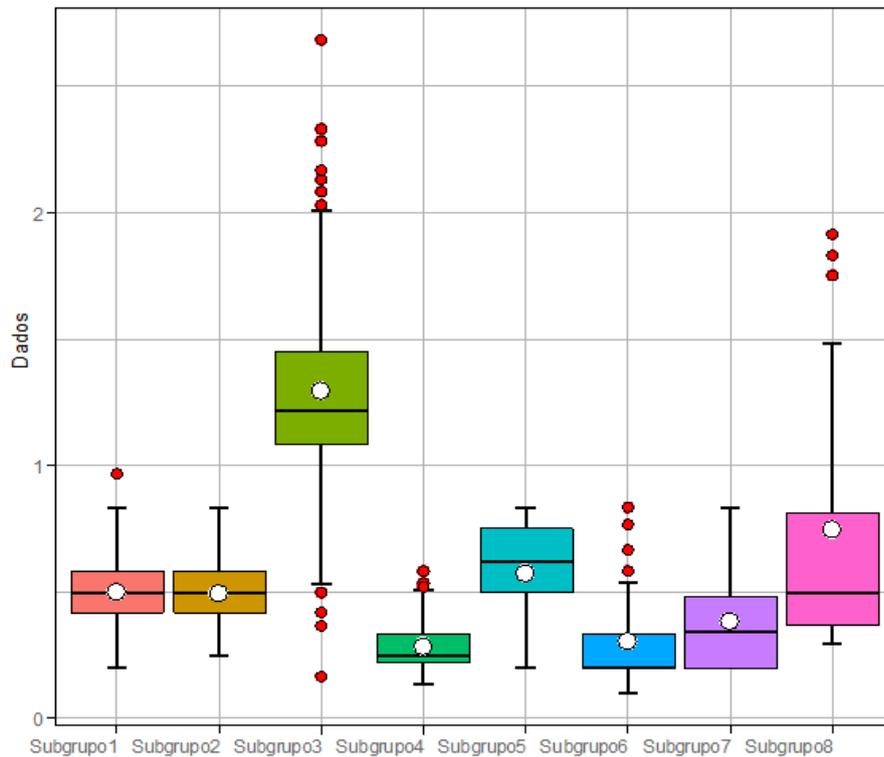


Figura 5.7: BoxPlot dos tempos de reparo do subgrupo 1 ao 8.

Fonte: Esta pesquisa (2016), gerado por R (2013).

A descrição dos dados pode ser observada de maneira sucinta por meio da tabela:

Tabela 5.2: Descrição de dados dos subgrupos

Grupos	Sub1	Sub2	Sub3	Sub4	Sub5	Sub6	Sub7	Sub8
Mínimo	0,2	0,25	0,17	0,13	0,20	0,10	0,20	0,30
1° Quartil	0,42	0,42	1,08	0,22	0,50	0,20	0,20	0,37
Média	0,50	0,49	1,29	0,28	0,57	0,30	0,38	0,75
Mediana	0,50	0,50	1,22	0,25	0,62	0,20	0,34	0,50
3° Quartil	0,58	0,58	1,45	0,33	0,75	0,33	0,48	0,81
Máximo	0,97	0,83	2,68	0,58	0,83	0,83	0,83	1,92

Fonte: Esta pesquisa (2016).

Por outro lado, de acordo com o teste de Kruskal-Wallis, os subgrupos 9 a 12 resultaram em uma estatística teste de 35,74, com graus de liberdade igual a 3 e $8,48^{-8}$, ou seja, $p\text{-valor} < 5\%$, indicando novamente a rejeição da hipótese nula de distribuições iguais entre os subgrupos. Essas variações de tempo (variável resposta) e a tendência central dos subgrupos podem ser observadas conforme segue:

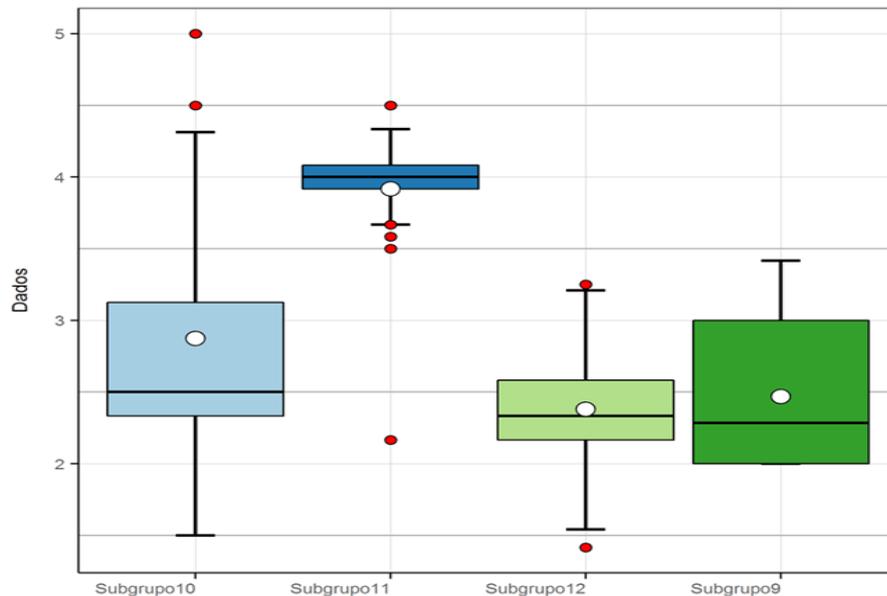


Figura 5.8: Boxplot da variação entre os subgrupos 9 a 12.

Fonte: Esta pesquisa. (2016).

Diante do cenário de variação entre os subgrupos de 9 a 12, pode ser observado que o subgrupo 9 apresentou um limite inferior de 2 horas e superior de 3,42 horas, com o 1º quartil em 2 horas também e o 3º quartil em 3 horas. O subgrupo 10 teve apresentou um mínimo de 1,5 horas e um máximo 5 horas, com 1º quartil em 2,33 horas e o 3º quartil em 3,13 horas, com mediana de 2,5 horas. Ao mesmo tempo, o subgrupo 11 resultou em 2,17 de mínimo de horas de reparo e 4,5 com máximo; apresentando o 1º quartil de 3,92 horas e o terceiro de 4,08. Por fim, o subgrupo 12 foi expresso com um mínimo de 1,42 horas e 3,25 horas como tempo máximo, com o 1º quartil resultando em 2,17 e o terceiro em 2,58 horas.

5.3.1.2 Tratamento de dados de manutenções corretivas

O primeiro passo para a tratativa de dados de tempo entre falhas (TBF) que serão utilizados no modelo é testar se os mesmos apresentam uma distribuição normal. Desse modo, os tempos entre falhas dos subgrupos foram testados através do teste de *Shapiro-Wilk* por meio de software para análise estatística R (2013). De acordo com Leotti, Birck e Riboldi (2005) e Öztuna, Elhan e Tüccar (2006), embora o teste de *Shapiro-Wilk* seja equivalente aos testes de *Anderson-Darling*, *D'Agostino-Pearson*, *Kolmogorov-Smirnov*, *Cramer-Von Mises* e *Jarque-Bera*, é configurado como o teste com maior aderência e sensibilidade para a verificação da normalidade. O teste de *Shapiro-Wilk* (1965), segundo Lopes, Branco e Soares (2013), apresentou uma aderência significativa em verificações relacionadas a pavimentação e

materiais relacionados. Além disso, vale lembrar que cada teste tem sua restrição em relação ao tamanho da amostra. Por exemplo, o teste *D'Agostino-Pearson* é utilizado para amostras com $n \geq 20$, por outro lado, o *Shapiro-Wilk* pode ser testado para amostras de qualquer valor ou tamanho de “ n ”.

Diante desse contexto, para teste de normalidade em relação aos tempos entre falhas (TBF) foram realizadas duas suposições. A primeira é a hipótese nula (H_0), visando evidenciar que todos os tempos entre falhas apresentam uma distribuição normal. Por outro lado, a hipótese alternativa (H_1) sugere que os tempos entre falhas não configuram como uma distribuição normal. O nível de significância estabelecido foi de 5%.

Desse modo, para estratificar as análises, o grupo contendo o conjunto de manutenções corretivas de 2014 a 2015 do aeroporto de Recife foi dividido em subgrupos de atividades, de acordo com os locais ou proximidades de manutenção. De maneira que o subgrupo 1 consiste no conjunto de dados que aloca as manutenções corretivas (tempo entre falhas) na pista de pouso e decolagem 18/36 (pista principal); o subgrupo 2 é composto pelos tempos entre falhas nas pistas de taxiways; o subgrupo 3 trata dos tempos entre falhas no pátio da aviação geral e hangares; e o subgrupo 4 considera os tempos entre falhas do pátio TPS II (terminal de passageiros).

Os testes de normalidade de *Shapiro-Wilk* foram realizados por meio de software estatístico (R, 2013).

No subgrupo 1, pelo teste de *Shapiro-Wilk* foi obtido um *p-valor* de 0,0365, isto é, *p-valor* < 5%, rejeitando a hipótese nula (H_0) de que a função apresenta uma distribuição normal. A distribuição dos dados pode ser observada assim:

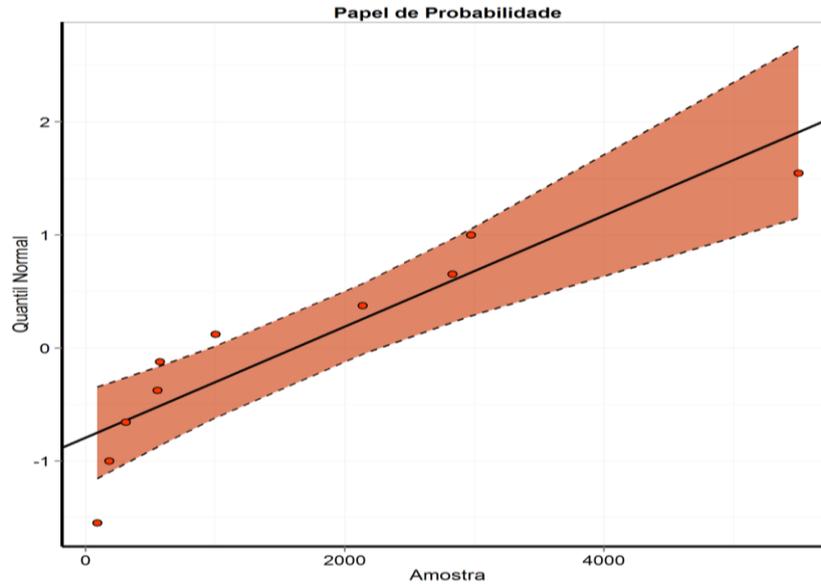


Figura 5.9: TBF da pista de pouso e decolagem - 18/36

Fonte: Esta pesquisa (2016).

No subgrupo 2, que trata dos TBF das pistas de taxiways do aeroporto de Recife, obteve-se por meio do *teste de Shapiro-Wilk* um *p-valor* menor que o grau de significância ($p\text{-valor} < 5\%$), rejeitando novamente a hipótese nula de distribuição normal. Os dados do teste podem ser observados abaixo:

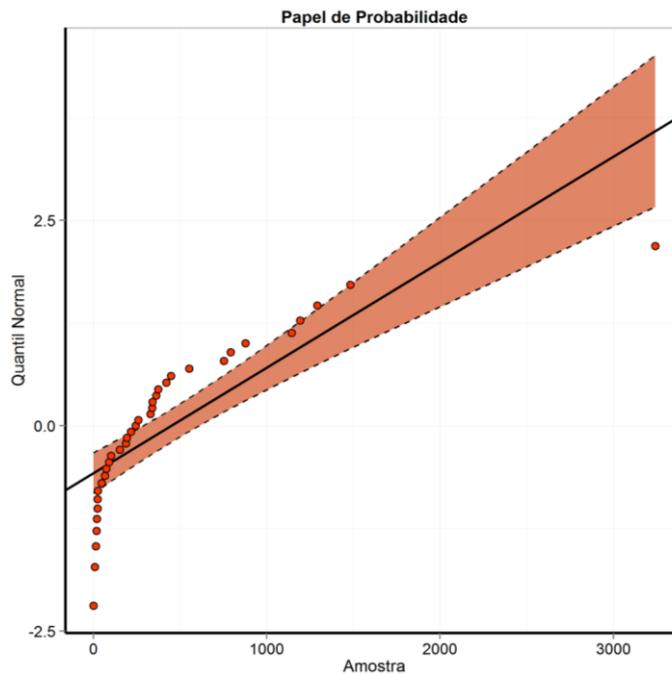


Figura 5.10: Distribuição TBF das pistas de taxiways

Fonte: Esta pesquisa (2016).

O subgrupo 3 considera os tempos entre falhas do pátio (pavimentado) da aviação geral e hangares. É importante ressaltar que essas falhas são corrigidas por meio da manutenção corretiva. De tal modo, no teste de *Shapiro-Wilk* o *p-valor* foi de 0,0046 ($p\text{-valor} = 0,46\% < 5\%$), o que indica rejeição de H_0 e aceitação da hipótese alternativa. Abaixo segue o gráfico de probabilidade normal para os resíduos dos dados analisados.

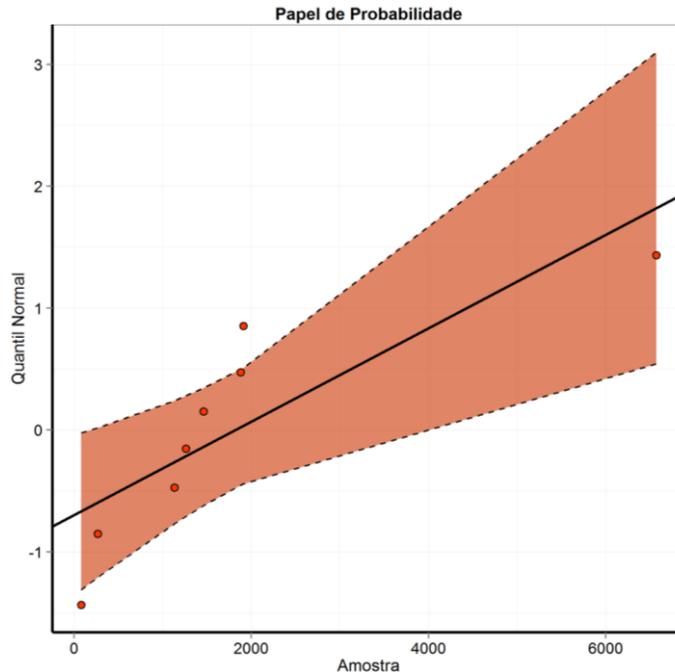


Figura 5.11: Distribuição TBF do pátio da aviação geral e hangares.

Fonte: Esta pesquisa (2016).

Por meio do teste estatístico de *Shapiro-Wilk* foi possível comprovar a rejeição da hipótese nula (H_0) do subgrupo 4, que corresponde aos tempos entre falhas do terminal de passageiros, devido ao *p-valor* ter resultado em 0,93% ($0,0093 < 0,05$ – nível de significância).

Assim, essa distribuição não normal pode ser observada:

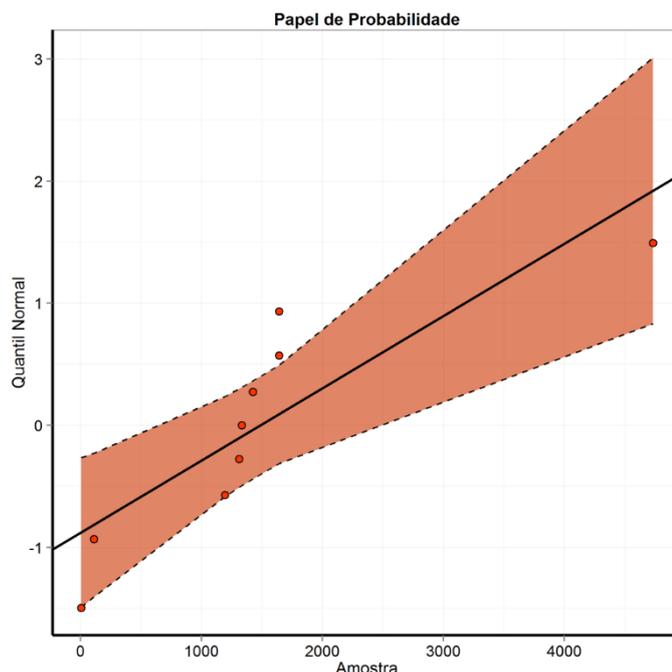


Figura 5.12: Distribuição TBF do terminal de passageiros (TPS II)

Fonte: Esta pesquisa (2016).

Desse modo, conforme pode ser observado nas figuras e resultados expostos acima, todos os subgrupos implicaram em uma rejeição de H_0 (hipótese nula) que buscava evidenciar que o conjunto de dados apresentava uma distribuição normal.

Diante desse contexto, buscou-se encontrar a distribuição que mais se adequava ao conjunto de dados por meio de uma série de testes estatísticos para que posteriormente pudessem ser analisadas no modelo proposto. Por isso, por meio do software Input Analyzer (2015), visou-se identificar a distribuição de probabilidades por meio de testes de aderência através de dados coletados em um sistema real. Assim, os testes visaram responder as seguintes hipóteses:

- Hipótese nula (H_0) – O conjunto de dados segue uma distribuição exponencial;
- Hipótese alternativa (H_2) – O conjunto de dados não segue uma distribuição exponencial.

As hipóteses acima formuladas consideraram também um nível de 5% e visam responder se a distribuição de probabilidade exponencial representa o comportamento das variáveis aleatórias presentes no sistema a ser modelado. Distribuições exponenciais são utilizadas para modelar processos que acontecem de maneira contínua e de forma independente a uma taxa constante, isto é, modelos de tempo de falha de componentes, intervalo de tempo entre chegadas de defeito e falhas, entre outros.

A partir dessa vertente, foi realizado os testes estatísticos objetivando encontrar a se a distribuição segue ou não caráter exponencial por meio do teste de Kolmogorov-Smirnov. O teste de Kolmogorov-Smirnov é indicado para distribuições contínuas e é muito utilizado para indagar se a função de distribuição dos dados pode ser estimada como advinda de uma população com uma determinada distribuição, nesse caso, a distribuição exponencial.

Assim sendo, a figura abaixo apresenta a distribuição do subgrupo 1, correspondente ao tempo entre falhas da pista de pouso e decolagem.

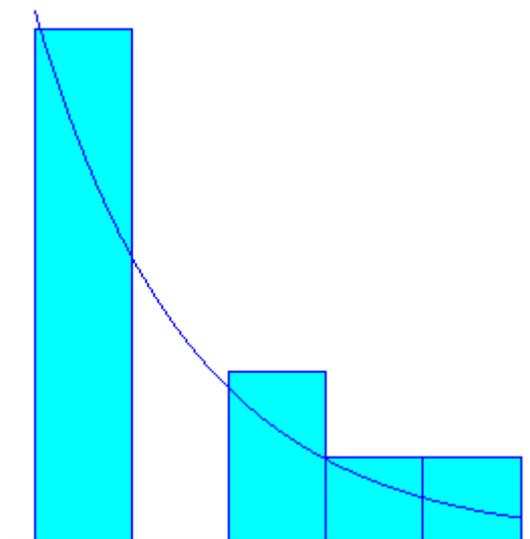


Figura 5.13: Distribuição Exponencial do TBF da pista de pouso e decolagem.

Fonte: Esta pesquisa (2016).

Os tempos entre falhas do subgrupo 1 apresentaram uma distribuição com a expressão de $195 + EXPO (1,5e + 003)$ e erro quadrático de $0,089556$. O teste de Kolmogorov-Smirnov apresentou uma estatística teste de $0,194$ e p -valor correspondente de 15% (p -valor $> 0,15$), culminando na rejeição da hipótese alternativa (H2). Ou seja, implicando na aceitação da hipótese nula de que os conjunto de dados segue uma distribuição exponencial. Além disso, as manutenções corretivas para corrigir as falhas ocorridas na pista de pouso e decolagem em 2014 e 2015 resultou na utilização de cerca de 135 horas profissionais, contudo configuraram horas dispendidas para atividades atípicas, como desemborramento de pista e medição de atrito. Essas intervenções foram de no mínimo 1,25 horas e no máximo de 54,20 horas. É importante ressaltar que a distribuição da pista de pouso e decolagem é o objeto principal da modelagem desse estudo. Assim, a taxa de falha ($1/MTBF$) para operações rotineiras foi de $0,0137$.

Por outro lado, o subgrupo 2, correspondente aos tempos entre falhas das pistas de taxiways do aeroporto de Recife, apresentou a distribuição exposta na figura 5.11. As

manutenções nesse bloco somaram nos dois anos (2014 e 2015) em torno de 580 horas profissionais, variando de 1 a 83 horas de atuação da equipe de manutenção.

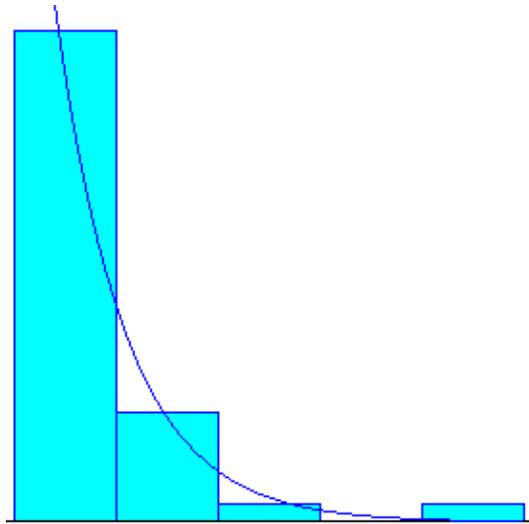


Figura 5.14: Distribuição Exponencial do TBF das pistas de taxiways.

Fonte: Esta pesquisa (2016).

A distribuição exponencial acima gerou uma expressão de $1 + EXPO (447)$ com um erro quadrático de $0,001080$. O teste estatístico do Kolmogorov-Smirnov foi de $0,176$ e o *p-valor* acima de 15% ($p\text{-valor} > 0,15$), rejeitando a hipótese alternativa novamente de que a distribuição não segue uma distribuição exponencial. A média de intervalo entre falhas foi de 448 horas (~ 19 dias).

O terceiro subgrupo satisfaz as intervenções no pátio da aviação geral e hangares. Esses locais tiveram em torno de 53 horas gastas em correção das falhas, variando de 1 a 15 horas. A distribuição dos tempos entre falhas pode ser observada conforme segue:

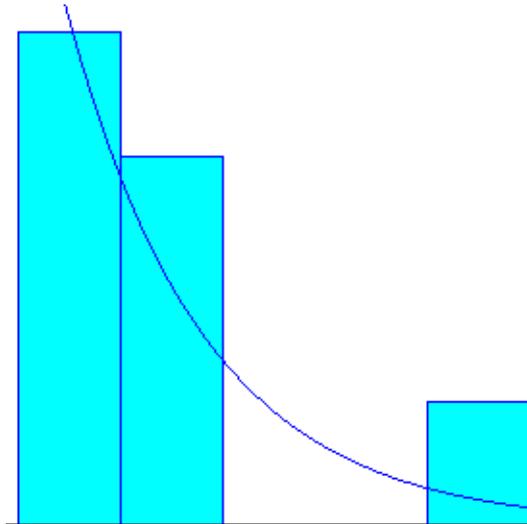


Figura 5.15: Distribuição Exponencial do TBF pátio da aviação geral e hangares.

Fonte: Esta pesquisa (2016).

A expressão gerada para essa distribuição foi $79 + EXPO (1,74 + 003)$ e erro quadrático de $0,043265$. O teste de Kolmogorov-Smirnov expressou um teste estatístico de $0,224$ e p -valor $> 15\%$, rejeitando assim H_2 (hipótese alternativa). Desse modo, a distribuição acima configura como uma distribuição exponencial. O tempo mínimo entre falhas no pátio da aviação geral e hangares foi de aproximadamente 3 dias.

Por fim, o subgrupo 4 admite as intervenções no pátio no terminal de passageiros (TPS II). No conjunto de dados desse grupo foi possível encontrar uma expressão de $2 + EXPO (9,64)$, com um erro quadrático de $0,014874$. O teste de Kolmogorov-Smirnov apresentou uma estatística teste de $0,127$ e p -valor correspondente acima de 15% , evidenciando novamente a rejeição da hipótese alternativa (H_2) dos dados não seguirem uma distribuição exponencial.

Essa distribuição exponencial pode ser expressa de acordo com a figura:

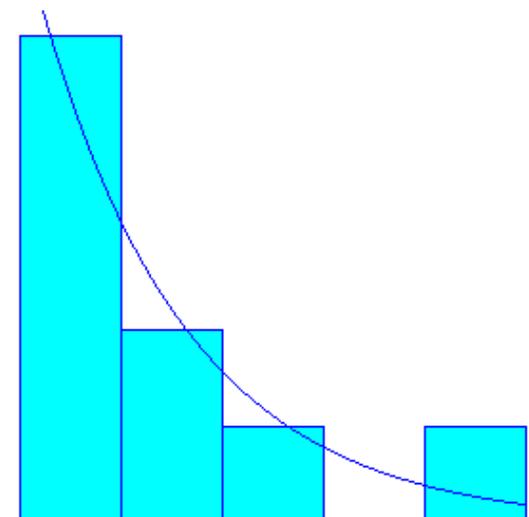


Figura 5.16: Distribuição Exponencial do TBF do terminal de passageiros – TPS II

Fonte: Esta pesquisa (2016).

Além disso, as intervenções para correção de falhas no terminal de passageiros foram em torno de 2 a 35 horas, ou seja, apresentando uma variação grande entre falhas. Em 2014 e 2015 as falhas ocorreram em um intervalo de em torno de 100 horas, aproximadamente 4 dias.

O custo, em reais, com horas profissionais e outros custos variáveis para correção das falhas nos quatro subgrupos do sistema analisado pode ser observado abaixo:

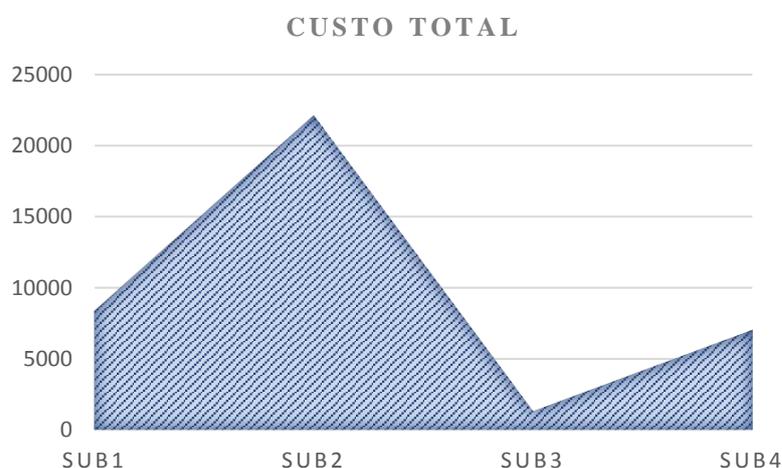


Figura 5.17: Custo total para correção de falhas;

Fonte: Adaptado de Infraero (2016b).

De modo geral, após análise dos dados de manutenções corretivas, pode ser observado que todos os locais em que ocorreram falhas apresentaram para o conjunto de dados inseridos nos subgrupos uma distribuição exponencial. Sendo assim, rejeitando a hipótese alternativa (H2) e aceitando a hipótese nula (H0) de que os dados seguem uma distribuição exponencial.

5.3.2 Dados subjetivos com base no conhecimento a priori de especialistas

Os dados subjetivos coletados foram fundamentados na ciência da probabilidade subjetiva e inferência bayesiana. As informações subjetivas baseiam-se no estudo de caso em que o modelo proposto teve sua aplicação.

Desse modo, a coleta dos dados subjetivos se referiu a alguns parâmetros relacionados à modelagem da política de gerenciamento da manutenção do aeródromo de Recife e contemplou o processo de elicitación baseado em Raiffa (1968) visando a explicitação do conhecimento a priori do especialista (tácito), adquirido através das percepções e experiências de um especialista de manutenção em aeródromos. Na ausência de dados representativos, este procedimento permitiu estimar uma probabilidade subjetiva. As informações obtidas neste procedimento não possuíam objetivo de avaliar o especialista ou a qualidade da manutenção e serviços realizados no âmbito da organização. A finalidade dessa aplicação foi apenas para fornecer os parâmetros requeridos pelo modelo de gestão da manutenção e sua aplicação numérica.

O especialista que detém as informações sobre a manutenção dos pavimentos asfálticos do complexo aeroportuário de Recife, sobretudo sobre os pavimentos asfálticos da pista de pouso e decolagem 18/36, objeto desse estudo, tem o seguinte perfil: Engenheiro Civil, com 5 anos de experiência na Infraero à frente do controle e supervisão das inspeções, manutenções preventivas e corretivas dos revestimentos asfálticos. O especialista em questão realiza as inspeções nos pavimentos pessoalmente e o responsável por acionar as manutenções de aspecto preventivo ou corretivo quando necessário. No passado, as inspeções nos revestimentos asfálticos eram efetuadas por equipe contratada (terceiros), mas por uma questão de confiabilidade e qualidade das informações esse padrão mudou e, hoje, obrigatoriamente, as únicas informações consideradas formais são aquelas advindas do especialista ou de outro membro da equipe de manutenção própria da Infraero, mas somente com a concordata do especialista.

Os dados foram coletados na Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária (Infraero) que administra o Aeroporto Internacional de Recife/Guararapes desde 1974. Atualmente, funciona 24 horas por dia e 365 dias por ano, mas tem uma janela sem voos comerciais de 2 às 5 horas.

De tal modo, ao perguntar ao especialista sobre o custo de deixar um defeito (buraco ou outra deformação) virar uma falha (custo/multa de inconveniência), o mesmo respondeu que

esse custo é muito abrangente ou não é possível citar por ter muito anos que não há falhas a ponto de deixar a pista do aeródromo toda indisponível e que geralmente, a indisponibilidade é parcial. Ainda assim, não se pode indicar algum custo nesse aspecto porque toda vez que há uma indisponibilidade de pista por erro na manutenção do pavimento, todo o custo das companhias aéreas com passageiros e outros requisitos devido atraso de voos é passado para a Infraero. Ou seja, dessa forma, essa “multa” por inconveniência vai depender muito do tempo de indisponibilidade, da quantidade de voos prejudicados, da quantidade de passageiros em cada voo, da quantidade de escalas afetadas, entre outros fatores.

Em relação as inspeções e buracos na pista, o tempo efetivo de inspeção na pista de pouso e decolagem é de 1h55min por semana, ou seja, as inspeções são realizadas a cada 7 dias. O tamanho de buraco (em m²) ou outra deformação que é considerado uma falha é acima de 500 cm². É importante ressaltar que os buracos são medidos em cm² ou m² porque só se tem noção da profundidade (cm³ ou volume) na execução da manutenção. O buraco que é considerado pequeno é abaixo 100 cm².

Ao se tratar sobre disponibilidade, descobriu-se que atividades como desemborrachamento de pista, varrição mecânica, medição de atrito e de macrotextura, manutenções em sinalizações horizontais e verticais são condições para garantir a disponibilidade da pista para pouso e decolagem, especialmente atividades de medição de atrito, medição de macrotextura e desemborrachamento de pista que são realizadas duas vezes por ano (a cada 6 meses). Caso não haja execução dessas tarefas a pista pode ficar escorregadia, prejudicando a operação normal das aeronaves. Além disso, caso uma manutenção na pista de pouso e decolagem não saia como o planejado e faça com que algum voo atrase, conforme já descrito acima, a Infraero arca com os custos de atrasos que a empresa aérea terá com passageiros, podendo ser até multada pela ANAC.

Em relação a elicitação realizada em relação aos tempos de atividades, obteve-se os dados explícitos nas tabelas abaixo. A elicitação do conhecimento a priori do especialista para o tempo médio de reparo, considerando tempo de preparação, pode ser observado abaixo:

Tabela 5.3: Tempo médio de reparo – MTTR (horas)

(MTTR)	$F(\theta_{MTTR})$
0,400	0,010
0,583	0,125
0,833	0,250
0,902	0,375

1,006	0,500
1,117	0,625
1,150	0,750
2,000	0,875
2,833	0,990

Fonte: Esta pesquisa (2016), com base na elicitación de especialista.

Os tempos e suas respectivas probabilidade acima foram aproximados por uma função de distribuição de probabilidade de Weibull com os respectivos parâmetros: $\beta = 1,77$ e $\eta = 1,53$. O coeficiente de determinação associado é de 83,54%, ou seja, $r^2 = 0,8354$.

A elicitación do conhecimento a priori do especialista sobre o tempo médio entre falhas em toda a pista de pouso e decolagem segue abaixo:

Tabela 5.4: Tempo médio entre falhas – MTBF (horas)

(MTBF)	$F(\theta_{MTBF})$
36,00	0,010
68,00	0,125
98,00	0,250
190,00	0,375
360,00	0,500
410,00	0,625
450,00	0,750
520,00	0,875
850,00	0,990

Fonte: Esta pesquisa (2016), com base na elicitación de especialista.

Esse conjunto de dados obtidos foi aproximado por uma função de distribuição de probabilidade de Weibull e o coeficiente de determinação associado é de 96,79%, ou seja, $r^2 = 0,9679$.

O tempo médio, em horas, gasto por semana em cada inspeção na pista de pouso e decolagem com base no conhecimento a prior de especialista é expresso da seguinte forma:

Tabela 5.5: Tempo médio por inspeção semanal (horas)

(Inspeção)	$F(\theta_{Inspeção})$
0,500	0,010
0,671	0,125
0,702	0,250

0,930	0,375
1,917	0,500
2,080	0,625
2,500	0,750
2,833	0,875
33,920	0,990

Fonte: Esta pesquisa (2016), com base na elicitação de especialista.

Durante toda a elicitação com base no conhecimento a priori, o especialista se demonstrou conhecer muito bem o assunto abordado. O processo envolvendo toda a elicitação não teve grandes dificuldades em sua condução, pois o especialista além de contribuir abertamente com a pesquisa, teve respostas consistentes embasadas em uma fundamentação precisa.

5.4 APLICABILIDADE DO MODELO

5.4.1 Custo esperado por inspeção

De acordo com Wells e Young (2004), os primeiros 75% da vida útil de um pavimento asfáltico é relativamente desempenhado de maneira estável. Durante $\frac{1}{4}$ (25%) restantes da vida útil do pavimento ocorre um processo contínuo e imediato de deterioração.

Do mesmo modo, quando uma trinca que já existe em alguma camada abaixo da superfície se multiplica em direção a essa mesma superfície, de modo que atinja o pavimento asfáltico de maneira irregular, longitudinal ou por interligação, se diz que a trinca é causada por reflexão. Essa reflexão é proveniente da centralização de tensões em torno da região da trinca, realizando assim uma redução da vida do pavimento e levando o mesmo para um defeito ou falha. Diante dessas premissas, essa pesquisa optou em utilizar a nomenclatura do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, que determinou que o valor aproximado para oscilação de uma trinca seja entre 20 e 50 mm por ano, isto é, a velocidade de crescimento de uma trinca é de 2 a 5 cm a cada 365 dias. É importante ressaltar que o trincamento é responsável pelo surgimento de buracos, deformações e outras implicações no revestimento asfáltico, além de ser causado por uma concentração de tensões, ocorre por variações de temperatura devido à combinação de contrações térmicas e por causa da elevação da rigidez do ligante betuminoso (DNIT, 2006d).

Sendo assim, nessa pesquisa, considerou-se para efeito de cálculos a estimativa de propagação da velocidade da trinca como taxa de falha (DNIT, 2006d) em sua totalidade, ou seja, 5 centímetros (5 cm²). Logo, a velocidade de propagação da trinca é de 0,0137 cm/dia (5 cm/365 dias). Logo, arbitrariamente, a profundidade de uma trinca, um dano ou uma trinca que expande para um buraco, exsudação ou afundamento é de 5 cm³, a uma taxa de $\lambda = 0,0137$.

Por outro lado, a taxa de chega de defeitos (K_f) baseou-se em dados históricos de tempos utilizados para correções de defeitos no período estudado. Assim, a taxa de chegada de defeitos corresponde a $K_f = 0,3123$.

Para visualizar os danos que aeronaves podem causar sobre um pavimento, imagine um Boeing 737 de 50 toneladas ou um Airbus de 90 toneladas pousando a uma velocidade média de 240 km/h sobre o esse revestimento flexível. Embora a pista tenha sido projetada para pouso de vários modelos de aviões, pode ser observado que o impacto sobre o pavimento é relativamente alto, considerando que além disso ainda há a relação direta e soberana dos fatores climáticos nesse mesmo pavimento. Abaixo segue uma relação dos impactos que os defeitos considerados como superficiais podem afetar o desempenho esperado de um pavimento.

Tabela 5.6: Impactos que os defeitos causam ao desempenho do pavimento

Defeitos	Conforto	Resistência à derrapagem	Integridade Estrutural	Drenagem Superficial
Trinca transversal	X	-	X	-
Trinca longitudinal	-	-	X	-
Trinca couro de jacaré	-	-	X	-
Trinca em bloco	X	-	X	-
Afundamento de trilha de roda	X	X	-	X
Exsudação	-	X	-	-
Buraco/panela	X	-	X	-

Fonte: Transport (2007).

A partir da tabela acima, pode se observar que os defeitos podem afetar o desempenho do pavimento e a falha além de afetar o desempenho irá fazer com que toda a operação do aeródromo seja parada imediatamente para a correção.

Diante do contexto de manutenção de pavimentos, esse modelo considera apenas dois estágios. Isto é, devido as características da pista de pouso e decolagem do aeroporto em estudo e por restrições da Infraero, a aplicação do delay time considera apenas que a pista, em termos de manutenção, apresenta defeito ou falha (acima de 20 x 25 cm). O primeiro estágio é proveniente da operação até o ponto que um defeito oculto é identificado e o segundo estágio consiste no ponto da identificação de um defeito até a ocorrência da falha. Ou seja, conforme

apresentado no capítulo 2 e 3, o defeito não interfere totalmente na operação da pista (reduz o desempenho), mas a falha sim, ou seja, durante a vida útil de um sistema o mesmo pode se apresentar em três estados: em operação (1), em manutenção preventiva ou em manutenção corretiva (0). Assim, pela coleta de dados objetivos, os defeitos vão de 5 cm² até 499 cm², acima disso é considerado uma falha. Isto é, o defeito considerado pequeno (P) está na faixa de 5 a 100 cm² (estado em que os defeitos começam a serem identificados), o médio (M) apresenta um intervalo de 110 a 290 cm² e acima disso, entre 300 e 499 cm² é o defeito dito como grande (G), isto é, quando o defeito começa a se direcionar para uma falha. A partir de 500 cm² o defeito passa do estágio defeituoso para o estágio falho (parada do sistema ou do trecho de pista). A pista ou está operando, considerando que todos os defeitos são identificados (inspeção perfeita), ou está em estado falho.

A inspeção visual da pista de pouso e decolagem 18/36 é executada por equipe própria. No passado essa inspeção era realizada por terceiros, mas por questões de confiabilidade, segurança e qualidade no serviço prestado, as regras foram alteradas. Atualmente a equipe de manutenção da Infraero do Aeroporto Internacional de Recife tem como padrão oficial a inspeção realizada por inspetor próprio, treinado para essa finalidade. Informações sobre defeitos na pista podem acontecer por parte dos pilotos dos aviões ou por algum terceiro que esteja transitando no local, mas essa é uma inspeção informal (não considerada), já que quando há visualização de defeitos é o inspetor próprio que é acionado imediatamente para realizar a inspeção oficial e fazer o devido registro.

Uma inspeção oficial tem duração média de 1 hora e 55 minutos, isto é, 1,9167 horas. As inspeções são realizadas 4 vezes dentro de um intervalo médio de 30 dias (1 vez por semana), o que equivale em um dia a 0,25556 (aproximadamente 7,667 horas de inspeções por mês). O custo de inspeção (R\$ 250) final corresponde a relação de custo x dia, ou seja 0,25556 dia por R\$ 250. Logo, o custo de inspeção final (0,25556 dia x 250 reais), considerando o custo diário mediante a horas realizadas por inspetor, corresponde a $C_I = 63,89$. O *downtime* de inspeção por dia foi igual a $di = 0,25556$ e o *downtime* da pista devido atividades preventivas foi $d = 0,5006$, conforme exposto na análise de dados.

De acordo com dados subjetivos coletados, uma falha na pista corresponde a um buraco ou outro defeito acima de 500 cm² (20 por 25 cm). Assim, o estado inicial dos defeitos é de 5 cm², a taxa de chefa de feitos igual a $Kf = 0,3123$ e a taxa de falha igual a $\lambda = 0,0137$. Com os dados objetivos coletados na Infraero, foi possível obter os seguintes custos médios descritos na tabela 5.7, referente a pista de pouso e decolagem. O custo de multas corresponde ao custo

médio para correção de uma falha (parada do sistema), ou seja, deixar um defeito chegar a 500 cm².

Tabela 5.7: Relação de custos

Custo variável médio de um defeito	$C_v(\text{defeito}) = 26,30$
Custo variável médio de uma falha	$C_v(\text{falha}) = 834,92$
Custo fixo	$F = 81,87$
Custo por inconveniência	$C_i = 5.000,00$
Custo de inspeção por inspetor	$CI = 63,89$

Fonte: Esta pesquisa (2016), com base em dados da Infraero (2016b).

Os dados de custo por inconveniência (custo por deixar um defeito virar uma falha) foram arbitrados para fins de cálculo. Vale ressaltar que os custos de inconveniência tratam apenas de custos arbitrados em relação a mão de obra gasta e valor mínimo de material. O custo fixo foi estimado com base nos dados da coleta de dados com alguma diferença da realidade para não comprometer qualquer processo dentro da Infraero.

De acordo com os dados acima, foi possível chegar aos seguintes resultados:

$$C_f = C_v(\text{falha}) + F + C_i = 834,92 + 81,87 + 5.000,00 \quad \text{Eq. 5.1}$$

$$C_f = 5.916,79$$

$$C_p = C_v(\text{defeito}) + F = 26,30 + 81,87 \quad \text{Eq. 5.2}$$

$$C_p = 108,17$$

De tal modo, ao substituir as equações 5.1 e 5.2 (custo de substituição por falha e custo da preventiva) pelos valores correspondentes, chega-se a equação do custo esperado por inspeção, conforme equação 4.6 (JONES; JENKINSON; WANG, 2009):

$$C(T) = \frac{\left[Kf \cdot T \left\{ 5.916,79 \left(1 + \frac{e^{-0,0137T}}{0,0137T} - \frac{1}{0,0137T} \right) + 108,17 \left(\frac{1}{0,0137T} - \frac{e^{-0,0137T}}{0,0137T} \right) \right\} + 63,89 \right]}{T + d} \quad \text{Eq. 5.3}$$

A aplicação do modelo de custo esperado por inspeção aos dados do estudo de caso estudado gerou os seguintes resultados:

Tabela 5.8: Custo esperado por inspeção

T	C(T)	T	C(T)	T	C(T)	T	C(T)	T	C(T)
24	73,33	264	162,29	504	268,08	744	365,97	984	455,92
48	72,27	288	173,17	528	278,24	768	375,32	1008	464,50
72	78,72	312	183,99	552	288,32	792	384,58	1032	473,00
96	87,61	336	194,76	576	298,31	816	393,77	1056	481,43
120	97,54	360	205,46	600	308,22	840	402,88	1080	489,80

144	107,99	384	216,09	624	318,05	864	411,91	1104	498,09
168	118,70	408	226,64	648	327,80	888	420,86	1128	506,31
192	129,55	432	237,12	672	337,46	912	429,74	1152	514,46
216	140,46	456	247,52	696	347,05	936	438,54	1176	522,54
240	151,38	480	257,84	720	356,55	960	447,26	1200	530,55

Fonte: Esta pesquisa (2016).

A análise gráfica dessas decorrências pode ser visualizada por meio da figura que representa o custo esperado por inspeção – C (T):

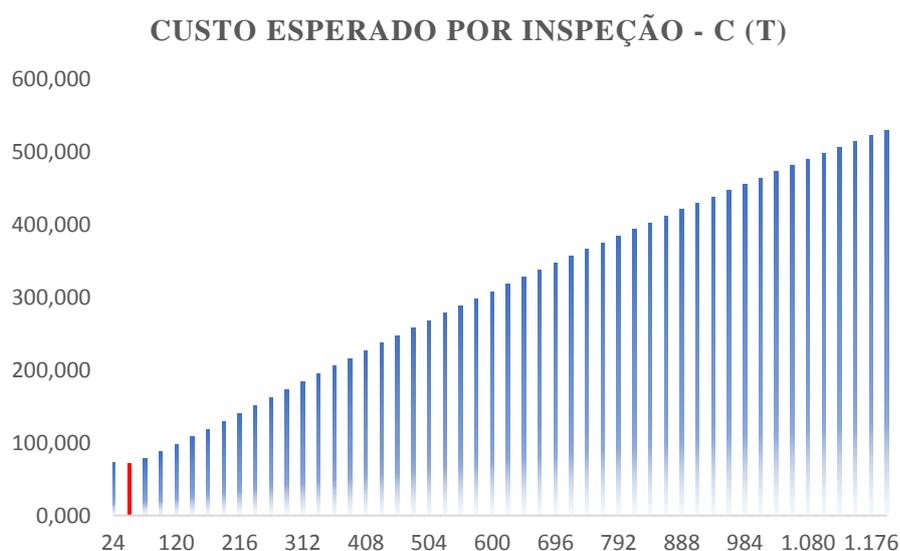


Figura 5.18: Custo esperado por inspeção

Fonte: Esta pesquisa (2016).

Sendo assim, conforme visualizado, o modelo apresentado sugere que as inspeções sejam realizadas em $\tau^* = 48$ horas, isto é, a cada 2 dias (período ideal). Essa inspeção a cada 2 dias teria um custo esperado de horas profissionais de R\$72,27 por inspeção executado por um único inspetor. A partir do momento que as inspeções são realizadas acima de 48 horas, o custo esperado por inspeção irá sempre aumentar, considerando tempos e custos do período analisado.

De acordo com Ackoff e Sasieni (1971), os modelos são a representação da realidade. Diante do modelo acima apresentado juntamente com todos os parâmetros necessários, estima-se que a política de inspeção ótima (48 horas) atenda a realidade do estudo em questão, ou seja, espera-se que esse paradigma possa representar aplicações realistas. Atualmente, as inspeções são realizadas a cada 168 horas. O intervalo de tempo ótimo, visando o custo, conforme o modelo proposto, é que as inspeções tomassem o intervalo de tempo de 48 horas, isto é, reduzindo em 5 dias a programação atual com intuito de redução de custo de inspeção.

5.4.1.1 Análise de Sensibilidade do Custo Esperado por Inspeção

A fase de análise de sensibilidade tem como objetivo verificar a rigidez dos dados e dos elementos introduzidos no modelo. Em outras palavras, nessa seção busca-se realizar simulações modificando as entradas para checar o quanto o modelo pode ser ou está apropriado, bem como verificar se as triagens realizadas em todas as fases do modelo continuam com a mesma saída.

Essa análise de sensibilidade será realizada de três maneiras:

- 1 - Variando a taxa de falha ($\lambda = 0,0137$) em $\pm 10\%$, 20% e 30% ;
- 2 - Variando a taxa de chegada de defeitos (Kf) em $\pm 10\%$, 30% e 50% ;
- 3 - Variando o custo de se fazer uma manutenção preventiva (Cf) em $\pm 10\%$, 20% e 30% .

Em todos os casos, existe uma comparação das variações com o λ inalterado.

Portanto, a figura na sequência tem por objetivo evidenciar a visualização da primeira variação:

I - $C_1(T)$: λ sem alterações;

II - $C_2(T)$: Redução de λ em 10% , com custo esperado de I;

III - $C_3(T)$: Elevação de λ em 10% , com custo esperado de II;

IV - $C_4(T)$: Redução de λ em 20% , com custo esperado de III;

V - $C_5(T)$: Elevação de λ em 20% , com custo esperado de IV;

VI - $C_6(T)$: Redução de λ em 30% , com custo esperado de V;

VII - $C_7(T)$: Elevação de λ em 30% , com custo esperado de VI.

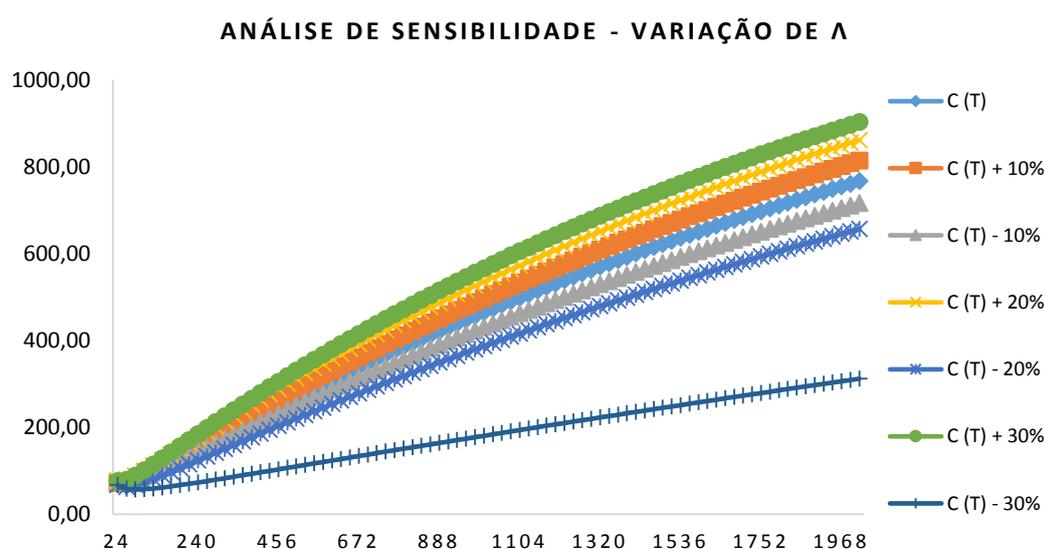


Figura 5.19: Análise de sensibilidade I – Variação de λ

Fonte: Esta pesquisa (2016).

Por meio da análise da análise de sensibilidade (1) expressa, observa-se que a variação λ altera o custo esperado, mas praticamente não altera os intervalos, conforme abaixo:

Tabela 5.9: Análise de sensibilidade I – Variação de λ

A. S. (1)	λ	T	C (T)
I	$\lambda = 0,0137$	48 h	72,27
II	$\lambda = 0,0151$	48 h	71,26
III	$\lambda = 0,0123$	48 h	73,76
IV	$\lambda = 0,0164$	24 h	77,86
V	$\lambda = 0,0110$	48 h	63,18
VI	$\lambda = 0,0178$	24 h	76,46
VII	$\lambda = 0,0048$	72 h	56,72

Fonte: Esta pesquisa (2016).

Os intervalos de tempo de tempo com a alteração da taxa de falha variaram de 24 a 72 horas.

A segunda análise de sensibilidade visa checar as variações com a alteração da taxa de chegada de defeitos, sendo:

I - $C_1(T)$: Manter K_f com o mesmo valor e manter a taxa de falha em $\lambda = 0,0137$;

II - $C_2(T)$: Reduzir K_f em 10%, com $\lambda = 0,0137$;

III - $C_3(T)$: Aumentar K_f em 10%, com $\lambda = 0,0137$;

IV - $C_4(T)$: Reduzir K_f em 30%, com $\lambda = 0,0137$;

V - $C_5(T)$: Aumentar K_f em 30%, com $\lambda = 0,0137$;

VI - $C_6(T)$: Reduzir K_f em 50%, com $\lambda = 0,0137$;

VII - $C_7(T)$: Aumentar K_f em 50%, com $\lambda = 0,0137$.

Portanto, as alterações previstas acima geraram os resultados expressos na forma, conforme pode ser observado.

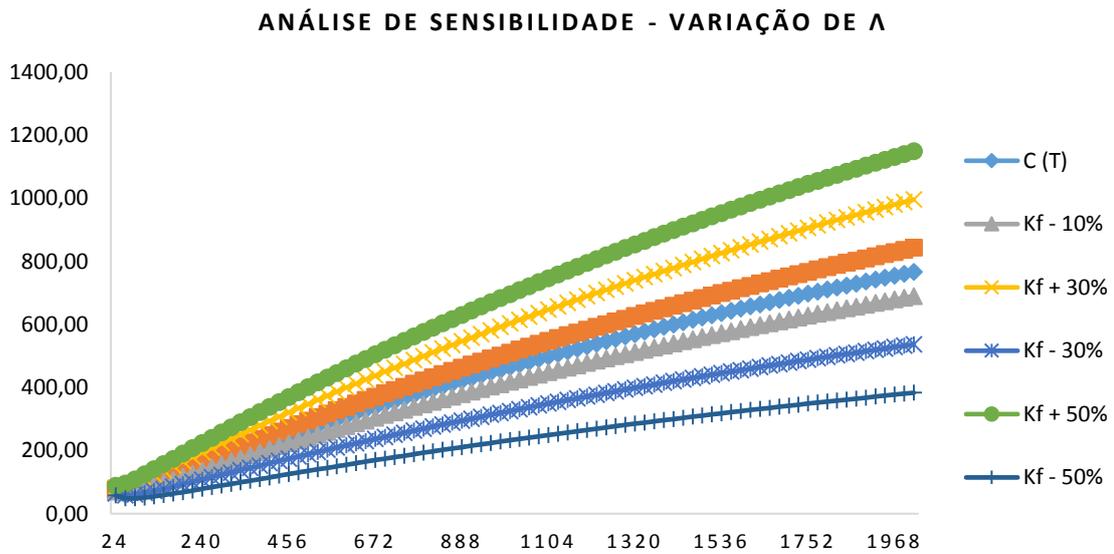


Figura 5.20: Análise de sensibilidade 2 – Variação do custo por inspeção.

Fonte: Esta pesquisa (2016).

Com análise de sensibilidade realizada, alterando somente a taxa de chegada de defeitos e mantendo a taxa de falha constante, obteve-se intervalos de inspeções e custos bastante próximos, exceto com a redução do custo de inspeção em 50%, como pode ser visto na tabela abaixo:

Tabela 5.10: Análise de sensibilidade 2 – Variação do custo de inspeção

A. S. (2)	λ	K_f	T	C (T)
I	$\lambda = 0,0137$	0,3123	48 h	72,27
II	$\lambda = 0,0137$	0,3435	24 h	76,41
III	$\lambda = 0,0137$	0,2811	48 h	67,59
IV	$\lambda = 0,0137$	0,4059	24 h	82,55
V	$\lambda = 0,0137$	0,2186	48 h	58,25
VI	$\lambda = 0,0137$	0,4684	24 h	88,70
VII	$\lambda = 0,0137$	0,1561	72 h	48,47

Fonte: Esta pesquisa (2016).

Por meio da segunda análise de sensibilidade, foi possível observar que o menor intervalo de inspeções foi de 24 horas (II, IV, VI, VII), com custos acima \$80. Os restantes dos intervalos variaram de 48 a 72 horas.

A terceira análise de sensibilidade tem como objetivo testar as entradas e as saídas variando o custo de se fazer uma manutenção preventiva (C_p) e o custo de fazer uma manutenção devido a falha (C_f), realizando um comparativo entre os mesmos, seguindo:

- I - $C_1(T)$: Manter C_p e C_f inalterados;
- II - $C_2(T)$: Reduzir C_p e C_f em 10%;
- III - $C_3(T)$: Aumentar C_p e C_f em 10%;
- IV - $C_4(T)$: Reduzir C_p e C_f em 30%;
- V - $C_5(T)$: Aumentar C_p e C_f em 30%;
- VI - $C_6(T)$: Reduzir C_p e C_f em 50%;
- VII - $C_7(T)$: Aumentar C_p e C_f em 50%.

Assim, com as alterações conforme as premissas acima, obteve-se:

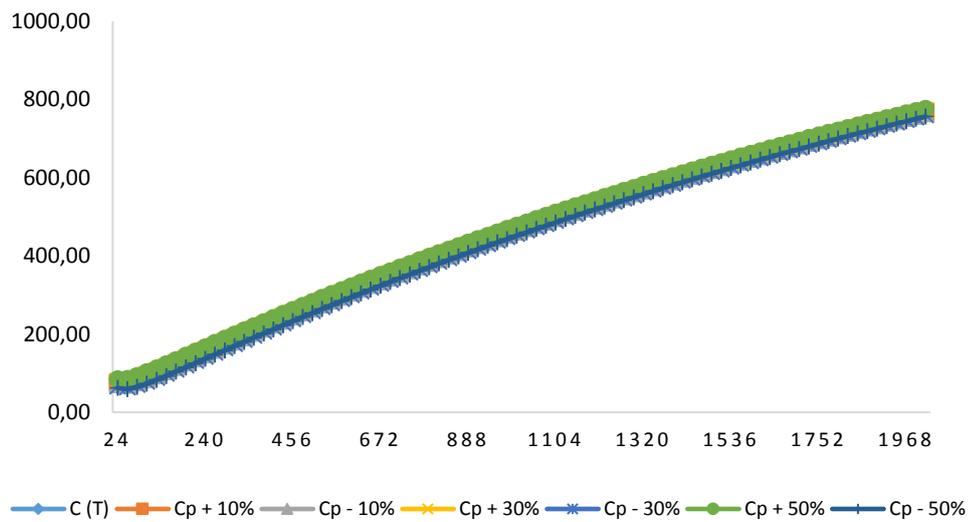


Figura 5.21: Análise de sensibilidade 3 – Variação do custo de manutenção preventiva.

Fonte: Esta pesquisa (2016).

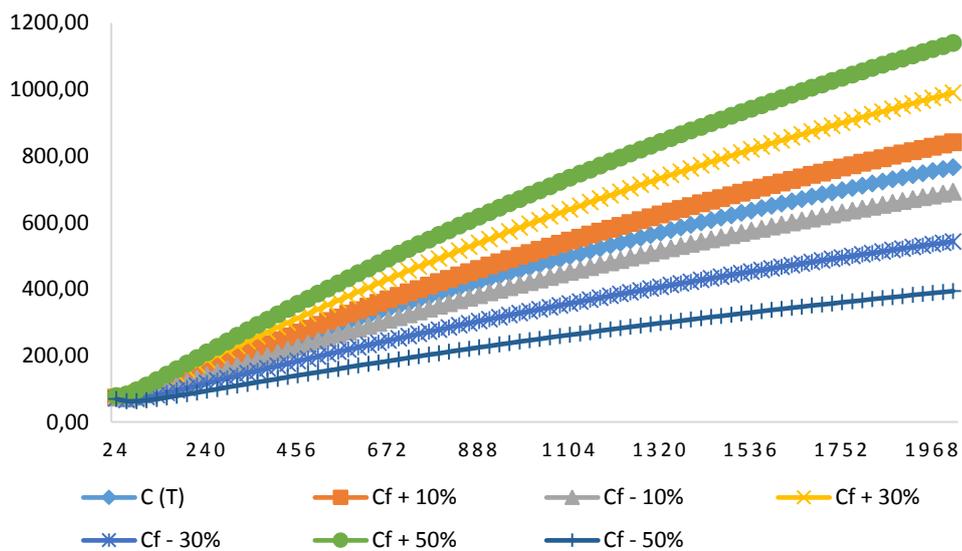


Figura 5.22: Análise de sensibilidade 3 – Variação do custo para substituição devido a falha.

Fonte: Esta pesquisa (2016).

Os intervalos e seus respectivos custos podem ser observados:

Tabela 5.11: Análise de sensibilidade 3 – Variação do C_p e C_f devido a falha

A. S. (3)	C_p	C (T)	T	C_f	C (T)	T
I	108,17	72,27	48 h	5916,79	72,27	48 h
II	118,99	74,93	48 h	6508,47	74,17	24 h
III	97,35	69,60	48 h	5325,11	70,26	48 h
IV	140,62	80,04	24 h	7691,83	75,85	24 h
V	75,72	64,27	48 h	4141,75	66,25	48 h
VI	162,23	84,51	24 h	8875,19	77,53	24 h
VII	54,08	58,94	48 h	2958,40	69,13	24 h

Fonte: Esta pesquisa (2016).

A partir dos dados acima, observa-se que mesmo com a variação do C_p , o custo esperado não se altera de maneira expressiva. Esse feito ocorre porque o custo para corrigir uma falha (C_f) é explicitamente maior, tanto que o intervalo de inspeções, mesmo com as alterações no custo da preventiva, não varia muito para todas modificações.

Diante das análises de sensibilidade expressas acima, foi possível observar a robustez do modelo por meio de modificações nos parâmetros de entrada visando observar todas as saídas.

5.4.2 Disponibilidade

Essa seção tem por objetivo analisar a disponibilidade da pista de pouso e decolagem do Aeroporto Internacional de Recife por meio de avaliações do tempo de operação pelo *downtime*.

Seguindo as premissas do modelo proposto, conforme seção 4.2.2 desse estudo, compreende-se que a pista de pouso e decolagem pode se encontrar em três estados: em operação normal, em estado reduzido (em manutenção preventiva) e em manutenção corretiva. Ainda que a maior parte das manutenções preventivas sejam realizadas por meio de janelas entre os voos, se torna imprescindível utilizar o tempo gasto na mesma, uma vez que se supõe que nem sempre esse procedimento possa ser realizado dessa forma. Por outro lado, as manutenções corretivas são provenientes de falhas e demanda interrupção das operações na pista, seja de maneira parcial ou total.

Para que se pudesse calcular a disponibilidade total do sistema, foi necessário considerar o tempo (T) de período de inspeção, o *downtime* de uma inspeção ou ação preventiva, *downtime*

devido a um dano ou reparo (d_b), a taxa de chegada de defeitos por unidade de tempo (K_f) para cada macro trecho da pista, o breakdown – b (T) e a taxa de falha λ (JONES; JENKINSON; WANG, 2009).

5.4.2.1 Função de probabilidade de disponibilidade

Para que pudesse ser determinado a probabilidade que a pista de pouso e decolagem esteve disponível no período de 2014 e 2015, já que as falhas e a operação seguem uma distribuição probabilística, foi considerado as premissas do *Delay Time*. O modelo fundamentou-se nas propostas de Christer e Waller (1984), Christer e Redmond (1992) e de Jones, Jenkinson e Wang (2009), conforme Equação 4.16 e 4.17 deste trabalho.

De acordo com os dados objetivos e subjetivos (com base no conhecimento de especialista) coletados, a equipe de manutenção do REC demanda de 0,17 a 0,50 hora (de 10 a 30 minutos) em média para realizar uma atividade de manutenção preventiva, sem considerar toda a preparação inicial com máquinas e material a ser aplicado, somente o reparo em sim (entrada imediata na pista e reparo). Considerando a preparação inicial de material, pessoas, máquinas, liberação da torre de comando e outros, esse reparo preventivo pode variar de 0,50 hora a 2,5 horas (em casos extremos). Para fins de cálculo foi considerado o tempo máximo gasto para execução pura do reparo, ou seja, 30 minutos (0,5006 hora).

Sendo assim, visando analisar a probabilidade da pista do Aeroporto Internacional de Recife estar disponível e o *downtime* sobre esse sistema foi aplicado a equação 4.17 contida na seção 4.2 que determinou esse modelo. Além disso, optou-se por analisar a pista de pouso e decolagem do REC em partes por meio da criação de cenários. Ou seja, a pista de pouso e decolagem é vista como um sistema que engloba diferentes componentes (trechos) para sua junção. Em outras palavras, significa que embora a pista de pouso e decolagem do aeródromo de Recife seja somente uma, a mesma nesse estudo será desmembrada em trechos de possíveis tendências de falhas e taxa de chegada de defeitos. Isto é, embora a pista seja um sistema único para tal fim, supõe-se que não se pode inferir que as falhas e defeitos ocorram ao longo de toda a pista da mesma maneira, uma vez que os pontos frequentes de aterrissagem e decolagem tem potencial para apresentar um comportamento de falha diferente de outros pontos da pista.

É importante observar que, os pontos pavimentados onde os trens de pouso das aeronaves têm contato tanto para aterrissagem quanto para a decolagem dificilmente serão exatamente os mesmos se vistos através de um aspecto menor ou micro, até porque o local de contato com o pavimento e o formato de cada trem de pouso irá variar conforme o tipo, o tamanho do avião e

a decisão do piloto, mas sem sair de uma “grande” área comum utilizada para essa finalidade. Contudo, ao observar o mesmo parâmetro por um aspecto ampliado, através de um trecho comparativo com o restante da pista, essas diferenças poderão ser ressaltadas e analisadas.

Por isso, esse estudo, visa dar foco a disponibilidade da pista de pouso e decolagem sob a ótica dos diferentes comportamentos que a mesma pode ter, dependendo de cada trecho analisado de maneira predeterminada. Assim sendo, observa-se que, segundo conhecimento de especialista, dependendo do local de onde a falha ou as falhas ocorrem, a pista não precisa ser interditada em sua totalidade (a disponibilidade reduz, mas não é anulada), apenas parcialmente em pequenos trechos. A partir disso, a manutenção é realizada nesse trecho parcial e a disponibilidade acaba ficando reduzida para aeronaves de grande porte ou que não tem capacidade para pouso no trecho que não foi interditado (disponível). Quando isso ocorre, as centrais de comandos de todos aeroportos são avisadas sobre a manutenção na pista do aeroporto de REC e assim as devidas correções são realizadas. De tal modo, se é possível reduzir a operação parcialmente e ainda assim a operação permanecer mesmo que de maneira reduzida (em casos específicos), então compreende-se que faz sentido analisar o sistema (pista) também em partes para fins de análises de comportamentos falhais.

Assim sendo, objetivou-se evidenciar a disponibilidade da pista considerando os parâmetros do *downtime*. Para isso a pista foi dividida em três macro trechos com intuito de apresentar a probabilidade de cada trecho estar disponível com suas respectivas taxas de defeitos ($Kf = 0,3904; 0,1649; 0,3123$) e falhas. Com isso, essa aplicação dispõe-se em verificar a disponibilidade e propor intervalos de inspeções e/ou ações preventivas através de uma maneira, que se acredita poder, se aproximar da realidade desse sistema real. Ressalta-se que, a pista poderia ser analisada somente em um único formato, como um equipamento, mas para isso seria necessário considerar que a manutenção de um trecho renovaria todo o sistema. Na prática, no caso de pavimentos, ao realizar a manutenção em buraco ou trecho toda a pista não será renovada, mas somente as condições desse trecho. Por isso, com a finalidade de se detalhar ainda mais como as falhas e surgimento de defeitos podem se comportar em trechos, optou-se em realizar as análises considerando a pista como um sistema complexo com seus respectivos componentes (trechos), isto é, expor os diferentes comportamentos que os defeitos e falhas podem ter ao longo de um trecho de 3.0007 metros de maneira desconjuntada.

Deste modo, segundo Sória (2006), o comprimento de uma pista deve ser suficiente para que aeronaves decolem, aborte decolagens ou pare/pouse de maneira segura.

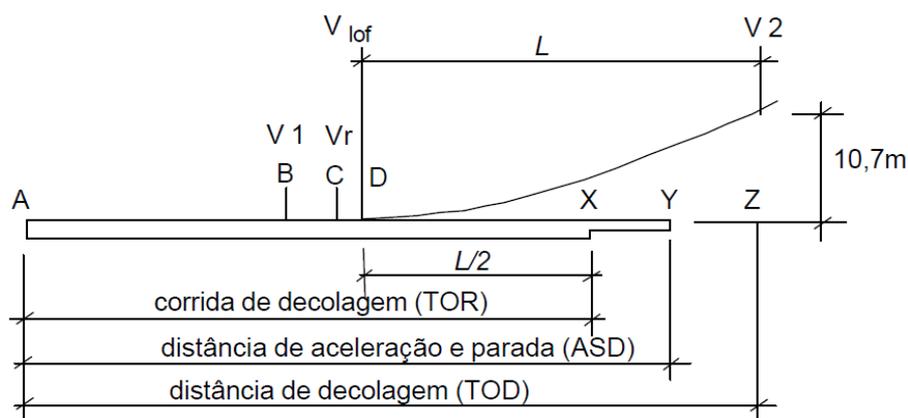


Figura 5.23: Processo de decolagem de aviões com ou sem falhas em um dos motores

Fonte: Sória (2006).

De modo que, conforme Sória (2006), caso uma aeronave que esteja em processo de decolagem (ponto A - cabeceira da pista) apresente falhas ao atingir a velocidade de decisão (V_1) e o piloto resolva abortar a decolagem, então o avião irá percorrer a pista do ponto A até Y (distância de aceleração e parada). Por outro lado, se o piloto decidir prosseguir com a decolagem com um dos motores inoperante, haverá aceleração do avião até atingimento da velocidade de rotação (V_r), de maneira que o ponto C será onde o piloto conseguirá erguer a parte frontal (“nariz”) da aeronave e alcançar a velocidade de decolagem (V_{lof} – velocidade que tira a aeronave do solo) no ponto D. Ao passar pelo ponto Z o avião estará em uma altura de 10,7 m e com velocidade maior ou igual a V_2 (velocidade mínima de início de subida), ou seja, não estará mais sobre a superfície pavimentada, mas ainda assim a distância de AZ é conhecida como a distância de decolagem. Contudo, se a falha nesse mesmo motor surgir antes de V_1 , o piloto, na maior parte dos casos por falta de velocidade, irá interromper a decolagem tendo que aplicar os aparelhos de frenagem sob o pavimento com intuito de parar antes do ponto Y. De acordo com essa vertente, em um processo de decolagem com aeronave com algum defeito tendo que abortar a decolagem, o pavimento irá sofrer maior ação da cabeceira até 80% de pista. Mas se nenhum defeito ocorrer, o avião irá apresentar aceleração do ponto A até atingir V_r , V_{lof} e V_2 (decolando), ou seja, o avião exercerá contato com o solo pavimentado no máximo até o ponto D (40% da pista).

Por outro lado, o procedimento de descida de uma aeronave ocorre da seguinte forma:

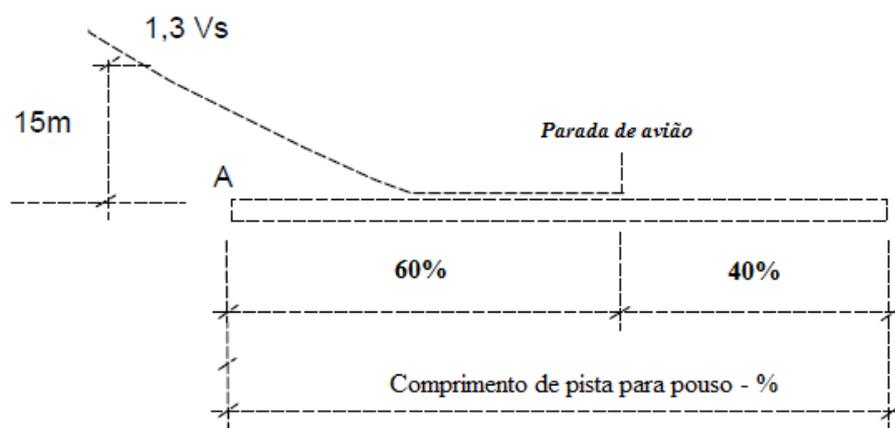


Figura 5.24: Procedimento de pouso de aviões;

Fonte: Adaptado de Sória (2006).

Para que uma aeronave pouse de maneira segura, a mesma deve sobrevoar a cabeceira da pista à uma altura de 15 metros, com velocidade constante de $1,3 V_s$ (velocidade de estol), vindo pousar a um comprimento equivalente a 60% da pista, sendo que o primeiro contato com solo se dá na faixa de 30% da pista. Assim, de maneira geral, aeródromos devem ter no mínimo 1800m de comprimento para atender processos de pousos e decolagens de aviões de peso abaixo de 90 toneladas, enquanto que aviões maiores necessitam de uma pista de pelo menos 2400m de comprimento (SÓRIA, 2006).

A pista total do Aeroporto Internacional de Recife tem 3.007 metros, considerando os 103 m de cada cabeceira (18 e 36). A faixa limite de segurança para que um Airbus toque no solo é de 300 metros após a cabeceira da pista, podendo variar conforme os modelos de aviões. Ou seja, supõe-se que os aviões tendem, na pista principal de Recife, a ter o primeiro contato com o solo, em caso de pouso normal, entre 403 m a 880 m (13 a aproximadamente 40%), percorrendo 30% a mais para parada total ou segura. É importante destacar que em casos especiais ou de emergência as aeronaves utilizam a cabeceira da pista ou toda extensão da mesma. Logo, o esquema desses contatos com o pavimento, deslocamento e o impacto direto proveniente das aeronaves pousando ou mesmo decolando pode ser visualizado abaixo:

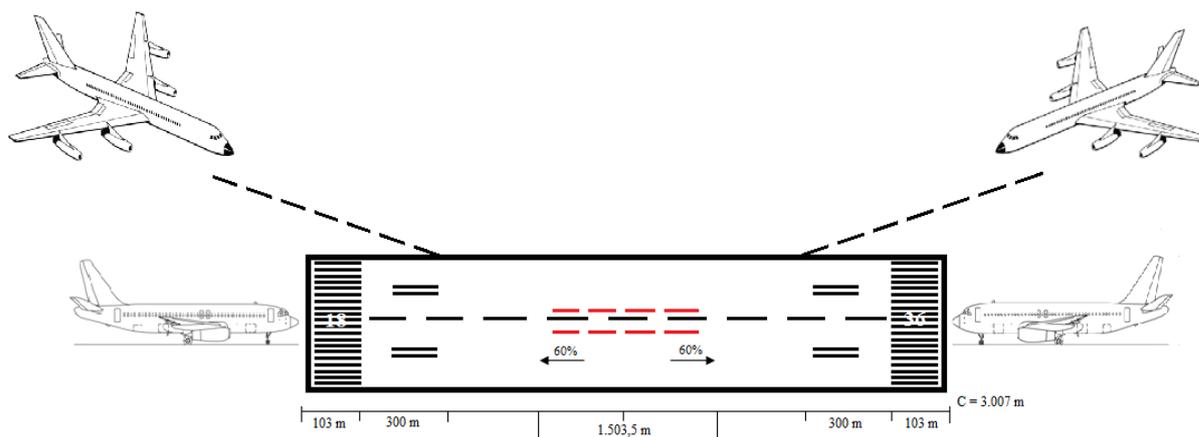


Figura 5.25: Diagrama de contato de aeronaves com o pavimento asfáltico no aeroporto de Recife;

Fonte: Esta pesquisa (2016).

Como pode ser visualizado, no Aeroporto Internacional de Recife os aviões tendem a decolar entre 880 a 1.202 m (30-40%) e a pousar no ponto de faixa de entre 900 e 1.804 m (30%-60%). Contudo, ressalta-se que embora esses sejam os pontos médios estimados de decolagem e pouso, o avião acaba percorrendo toda a pista, já que a aceleração da aeronave inicia a partir da cabeceira da pista e percorre a pista até atingir a velocidade de decolagem; ou no caso do pouso, a partir do primeiro contato com o solo pavimentado, isto é, a aeronave transcorre a pista principal até chegar a taxiway mais adequada para sua transferência até ao estacionamento.

Desse modo, nessa pesquisa, a opção por criar cenários e dividir a pista principal 18/36 em três macro trechos, resultou nos seguintes aspectos: o primeiro macro trecho foi vinculado as duas cabeceiras de pistas (18 e 36), o segundo macro trecho entre a cabeceira (103 m) até 30% da pista (15% para cada lado – 347 m), considerando os dois sentidos de pista, e por último, o trecho que vai 15% a 85% de pista, isto é, de 450 m ao ponto de 2.107 em ambos sentidos de cabeceira. A figura 5.23 apresenta essa divisão:

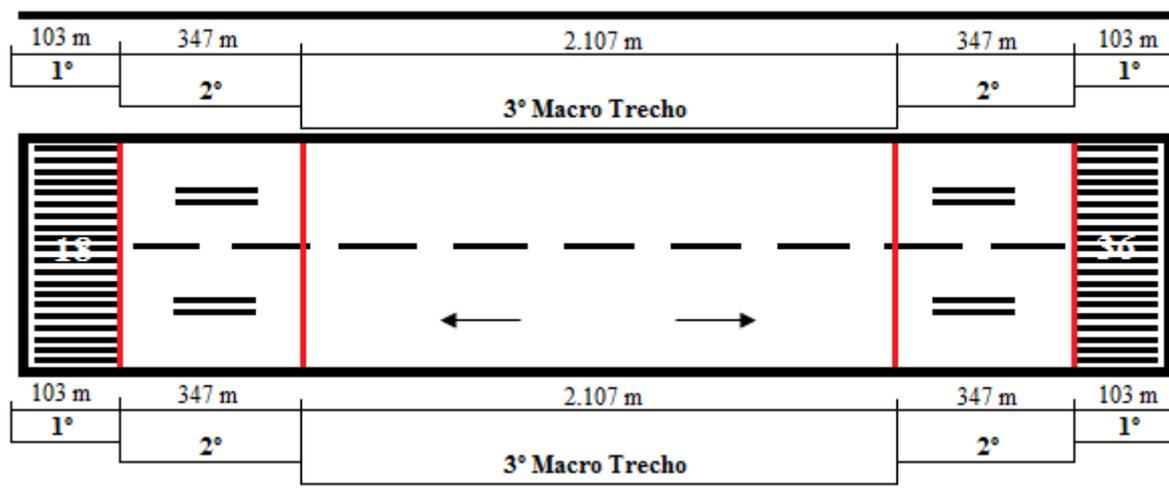


Figura 5.26: Divisão da pista 18/36 do aeroporto de Recife para exposição de cenários de falhas;

Fonte: Esta pesquisa (2016).

Ao analisar a pista de pouso e decolagem por trechos, obteve-se para as cabeceiras 18 e 36 (primeiro macro trecho) um intervalo de intervenções de 360 horas. O intervalo pode ser evidenciado na Figura 5.27:

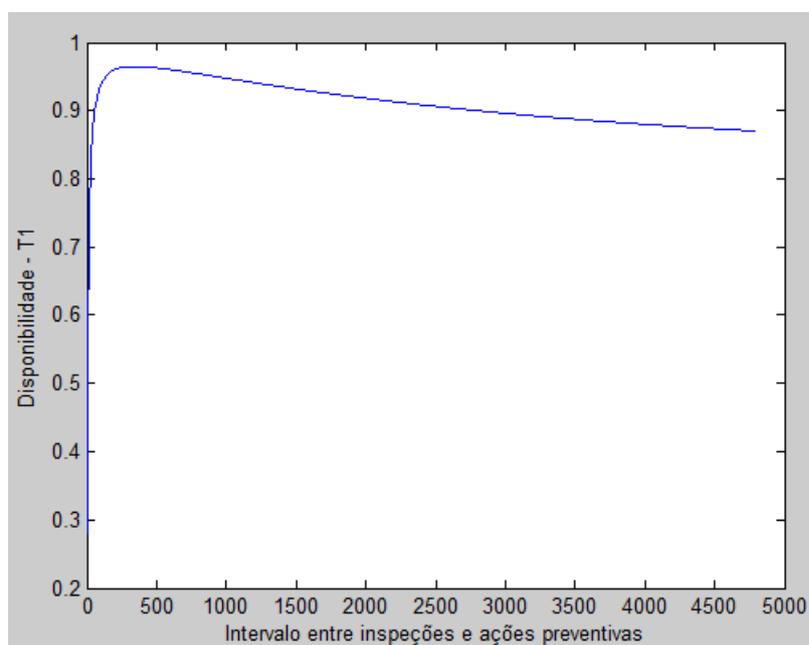


Figura 5.27: Probabilidade das cabeceiras 18 e 36 estarem disponíveis;

Fonte: Esta pesquisa (2016).

Portanto, nas cabeceiras as inspeções devem ser realizadas a cada 360 horas ($\tau = 15$ dias) e a probabilidade desse trecho estar disponível nesse período é de 96,48%.

Por outro lado, no segundo macro trecho, intitulado como o trecho que vai a partir das cabeceiras (103 m) até 15% da pista (olhando apenas em um sentido – 450 m) ou 30% da pista (visão geral da pista), chegou-se aos seguintes parâmetros:

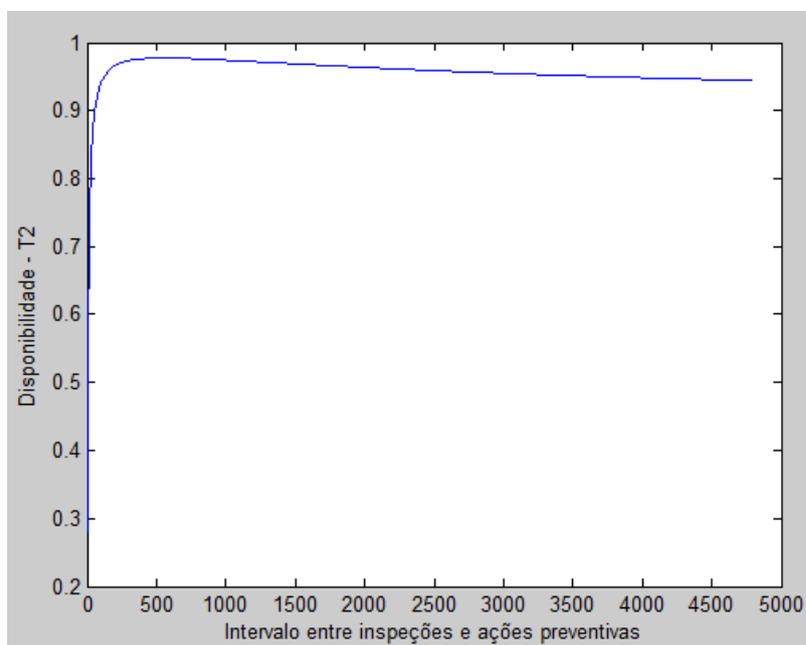


Figura 5.28: Probabilidade do segundo trecho (103 a 450 m da pista) estar disponível

Fonte: Esta pesquisa (2016).

Portanto, nesse trecho as inspeções devem ser realizadas aproximadamente a cada 552 horas ($\tau = 23$ dias) e a probabilidade de o trecho estar disponível nesse período é de 97,74%. Após esse período, não havendo intervenções preventivas, a probabilidade de o trecho estar disponível diminui conforme o tempo.

Paralelamente a esse contexto, o terceiro macro trecho também apresentou sinais de deteriorações e o intervalo de inspeções pode ser observado:

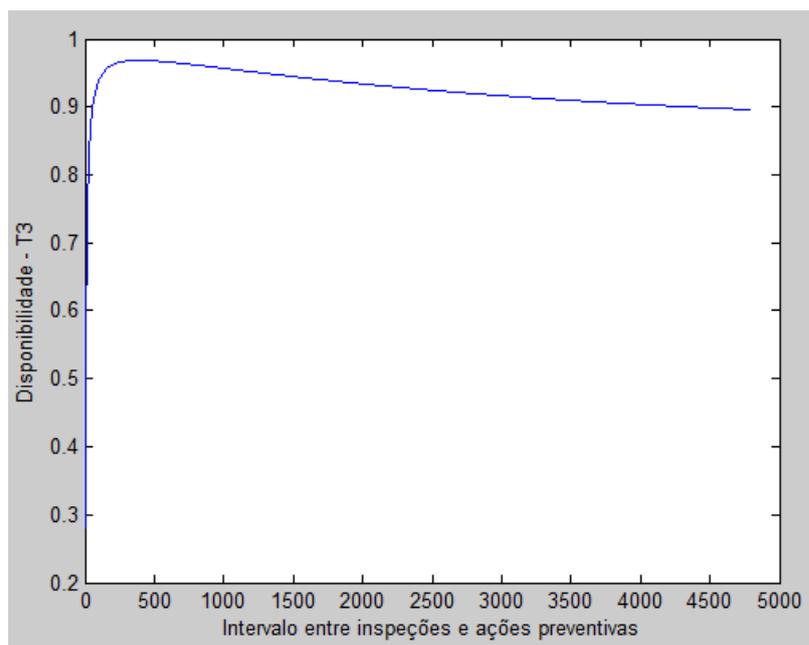


Figura 5.29: Probabilidade do terceiro macro trecho (parte central da pista) estar disponível

Fonte: Esta pesquisa (2016).

Assim sendo, a partir dos dados de taxa de falha e de chegada de defeitos do terceiro macro trecho, que consiste nos pontos aparentes de maior exploração dos pavimentos pelas aeronaves por concentrar a maior área possível de ocorrência de frenagens bruscas, decolagens e término de parada segura dos aviões após ter o primeiro contato com o solo pavimentados, sugere-se que o intervalo de inspeções programadas seja de 408 horas ($\tau = 17$ dias). Ou seja, a probabilidade desse trecho estar disponível nesse período é de 96,86%.

De maneira geral, pelo modelo que visa somente a disponibilidade, as intervenções preventivas que não ocupam janelas entre voos e exigem a redução da operação deveriam ocorrer entre 552 horas no primeiro macro trecho, a cada 360 horas no segundo macro trecho e a cada 408 horas no terceiro macro trecho.

5.4.3 Abordagem Multicritério

De acordo com Monte (2015), análises independentes com intuito de minimizar critérios, nesse caso como custo e disponibilidade, podem não refletir a realidade, pois decisores demandam rotineiramente que tais critérios possam ser atendidos ao mesmo tempo. Assim, uma alternativa para esse dilema seria a otimização multiobjetivo. Desse modo, deveria ser encontrado um ponto ou conjunto de valores em uma região onde não seja possível melhorar a solução em um critério sem que isso implique na redução de desempenho no outro critério, isto

é, o ótimo de Pareto. Para isso, realizou-se um estudo envolvendo a modelagem multiobjetivo para a função de custo e de disponibilidade para o segundo e o terceiro macro trecho. Contudo, computacionalmente devido ao número de iterações a serem realizadas para a determinação das janelas entre preventivas tornou-se inviável em relação à ideia inicial de simular o problema para intervalos de tempo superiores a 300 horas.

Diante desse contexto, optou-se em integrar esses dois critérios por meio dos conceitos da Teoria de Utilidade Multiatributo (MAUT) para agregação de preferências da supervisão e encontrar o intervalo de tempo ideal, de modo que possa atender aos critérios de custo e de disponibilidade comitadamente. Por meio das premissas de MAUT poderá ser possível descobrir uma solução que, ainda que não seja um ótimo de Pareto para os dois critérios, possa refletir a solução do problema de maneira efetiva, ou seja, que a solução encontrada possa representar a realidade em questão. Para isso, na primeira etapa foi elicitado as funções utilidade para o critério custo e depois disponibilidade, conforme método de Keeney e Raiffa (1976), posteriormente, na etapa 2, verificado a independência em utilidade entre os critérios e depois verificado a independência aditiva; e por fim, na última etapa, obtenção da função utilidade multiatributo com sua respectiva otimização para obtenção do intervalo entre inspeções ou preventivas que maximize a utilidade da problemática para a supervisão.

5.4.3.1 Funções utilidade: Custo e Disponibilidade

O procedimento proposto por Keeney e Raiffa (1976) consiste em elicitado preferências de decisores (gestores, supervisores, gerentes, etc.) por meio de uma função utilidade que pode ser linear e exponencial, de modo que possam simular situações em aplicações práticas. De tal modo, quando o decisor é indiferente em relação ao risco, diz-se que o mesmo não tem perfil de aversão ou propensão ao risco, configurando como uma função linear. Por outro lado, quando existe essa aversão ou propensão ao risco a função que melhor se aplica é a exponencial.

Assim sendo, a variável C representa a função de custo ($\tau = \sim 48$ horas) para os três trechos e $A1$, $A2$ e $A3$ representam as funções de disponibilidade para o primeiro ($\tau = 360$ horas), segundo ($\tau = 552$) e o terceiro macro trecho ($\tau = 408$). Logo, C corresponde ao custo por ciclo, conforme equação 5.3 do custo esperado por inspeção.

Dessa maneira, as funções de cada critério (custo versus disponibilidade) otimizadas, levam a um intervalo de inspeções e/ou manutenções preventivas que maximize a disponibilidade e outro que minimize o custo. Portanto, o ambiente de consequências se limita aos valores desses intervalos (τ^*). Logo, $U(C) = 1$ e $U(A1, A2 \text{ ou } A3) = 0$ para o custo

mínimo que for assumido e $U(C) = 0$ e $U(A1, A2 e A3) = 1$ para o intervalo de inspeções e ações preventivas que resulte na disponibilidade máxima. Paralelamente a esse contexto, considera-se que quaisquer alternativas que estejam fora desse espaço corresponderá a uma solução dominada, que significa uma solução decisivamente pior para quem decide, nesse caso, o supervisor. As limitações do ambiente de conseqüências podem ser observadas abaixo:

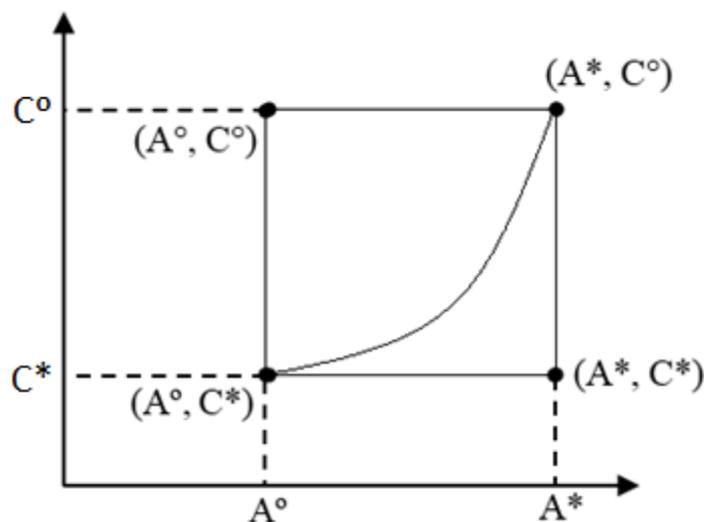


Figura 5.30: Aspectos do espaço de conseqüências

Fonte: Adaptado de Almeida (2013) e Monte (2015).

A partir da figura acima, observa-se que somente os pontos dominados na curva são considerados viáveis devido tanto o custo como a disponibilidade serem dependentes da mesma variável τ (intervalo de inspeções/preventivas). Como tanto o critério custo como o critério de disponibilidade se demonstram conflitantes, então não é possível chegar ao ponto (A^*, C^*) . Sendo assim, nessa pesquisa, pretendeu-se encontrar o ponto viável que pudesse ser mais próxima dessa solução.

Para chegar a utilidade da supervisão, foi explicado o método e exposto duas opções possíveis: escolha do equivalente certo (alternativa 1) ou uma loteria com probabilidade de ganhos e perdas (alternativa 2). Por exemplo, supondo que determinado trecho da pista tenha a probabilidade de 50% de surgir falhas no pavimento durante seu período de maior demanda, causando um custo com corretiva e prejuízos causados as companhias aéreas de R\$ 900.000,00. Caso os buracos sejam tratados nesse mesmo trecho de maneira preventiva, a probabilidade de ocorrer uma falha durante o período de maior demanda é relativamente baixa ou em torno de 0%. Logo, o decisor poderá preferir investir R\$ 20.000 em inspeções e ações preventivas (tratativa dos defeitos) ou correr o risco de ter uma falha no sistema. De modo que, se o decisor preferir sempre um valor maior de ganho (ou menor perda), a função então será considerada

como monotonicamente crescente; se o decisor preferir um ganho menor (perda maior), a função será monotonicamente decrescente. Posteriormente, o decisor pode optar por uma das alternativas, direcionando-o a próxima opção para um valor maior, caso a preferência tenha sido em realizar um investimento preventivo, ou menor caso a escolha tenha sido em correr o risco. Diante disso, uma série de valores foram expostos para que se pudesse chegar a um retorno que levasse o decisor a dúvida e/ou indiferença entre aceitação ou correção do risco, intervalo dito como equivalente certo. Os equivalentes certos em questão estão presentes no intervalo entre o custo e disponibilidade otimizados. Em outras palavras, esse procedimento verifica se o decisor tem aversão ao risco ou é propenso ao risco.

5.4.3.2 Determinação do espaço de consequências

Para determinar o espaço de consequências foram considerados as máximas e mínimas fronteiras de cada critério ou atributo de acordo com as alternativas. As alternativas correspondem ao intervalo que as intervenções devem ser realizadas com base nos critérios. O atributo custo foi atribuído a montante financeiro (\$) e o atributo de disponibilidade (probabilidade de o trecho estar disponível) em percentual (%), conforme pode ser observado:

Tabela 5.12: Espaço de consequências - atributos de custo e disponibilidade (A2 e A3)

Alternativas	Custo (\$)	A2 (%) - 2º macro trecho
48 horas	72,27	88,43%
360 horas	205,46	96,48%
Alternativas	Custo (\$)	A2 (%) - 2º macro trecho
48 horas	72,27	88,57%
552 horas	288,32	97,74%
Alternativas	Custo (\$)	A3 (%) - 3º macro trecho
48 horas	72,27	88,48%
408 horas	226,64	96,86%

Fonte: Esta pesquisa (2016)

A alternativa mais preferida será 1 e a menos preferida será 0, dentro de cada macro trecho. Além disso, ressalta-se que no primeiro atributo o desejo é o mínimo custo, por outro lado, no segundo atributo se almeja a máxima disponibilidade.

A figura seguinte apresenta o espaço de consequências para dois atributos considerando a melhor consequência (*) e a pior consequência (°), sendo que (C*, A1*), (C*, A2*) e (C*, A3*) configuram-se como as melhores consequências.

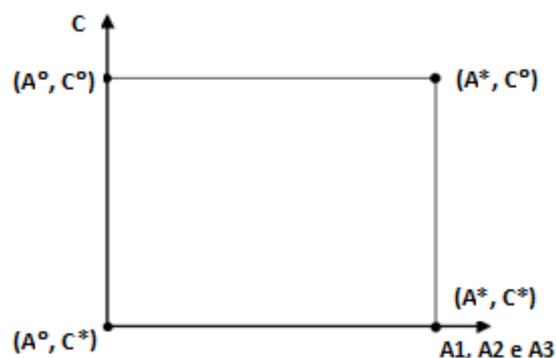


Figura 5.31: Espaço de consequências do custo e da disponibilidade (A1, A2 e A3)

Fonte: Esta pesquisa (2016)

Assim, para obter as utilidades unidimensionais na dimensão de custo (mínimo custo) o decisor foi interrogado quanto aos equivalentes certos das loterias, considerando o custo e as disponibilidades (A1, A2 e A3) de maneira separada, ou seja, um macro trecho por etapa.

As loterias utilizadas para o critério de custo podem ser observadas abaixo. Para a realização desse procedimento foi definido uma probabilidade igual a 50% com intuito de facilitar o processo análise pelo decisor, conforme sugerido por de Almeida (2013).

Assim, foi solicitado que o decisor indicasse um valor ao qual com certeza o faria optar por pagar diretamente o custo de inspeção sem recorrer a loteria. Após isso, pediu-se ao decisor para indicar um valor ao qual com certeza o faria arriscar na loteria. A partir disso foram realizadas algumas checagens da decisão do mesmo e, posteriormente, foi solicitado que o decisor indicasse um valor entre os dois indicados anteriormente de modo que o mesmo ficasse indiferente entre pagar por um custo certo (equivalente certo) ou arriscar em uma loteria de 50% de chance de obtenção do menor custo e 50% de possibilidade de incorrer em um maior custo.

O resultado final dessa elicitación da função utilidade do decisor para custo do primeiro macro trecho pode ser observada como segue.

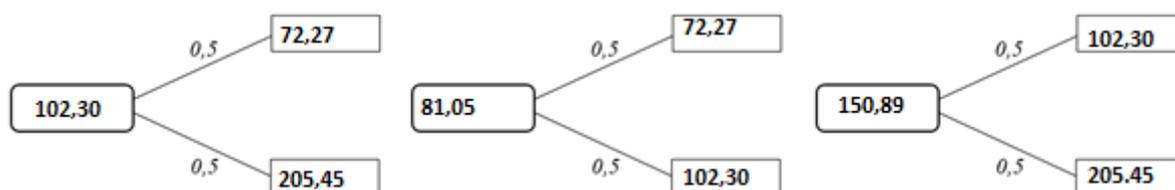


Figura 5.32: Equivalentes certos e loterias para a obtenção da função utilidade do critério custo

Fonte: Esta pesquisa (2016)

O valor da utilidade do critério de custo $U(C_i)$ está expresso na tabela que segue, como também na Figura 5.32 é apresentado a função utilidade do critério custo.

Tabela 5.13: Função utilidade do custo – Trecho 1

C_i	$U(C_i)$
205,45	0,00
150,89	0,250
102,3	0,500
81,05	0,750
72,27	1,000

Fonte: Esta pesquisa (2016)

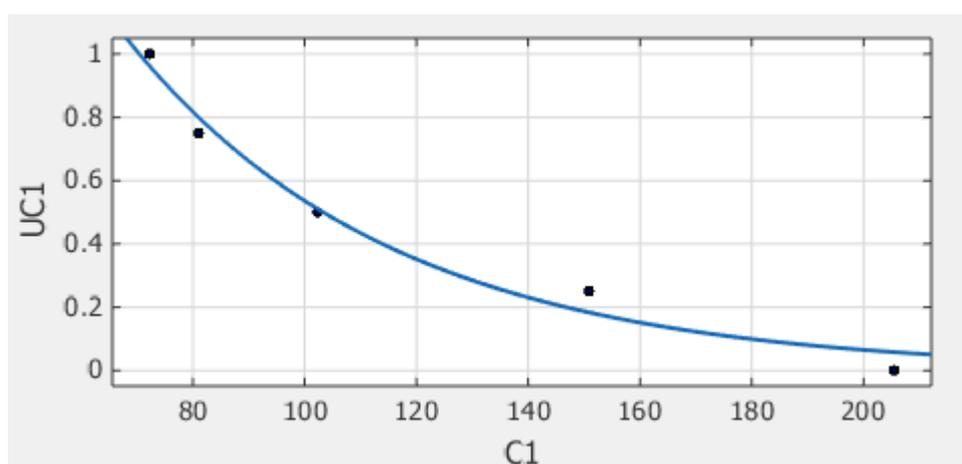


Figura 5.33: Função utilidade para o critério custo para o primeiro macro trecho

Fonte: Esta pesquisa (2016).

Com a função utilidade do decisor em relação ao custo $f(c) = a \cdot \exp(b \cdot C1)$ foi possível verificar que o decisor tem características de propensão ao risco. A obtenção foi $f(c) = 4,412 \cdot \exp(-0,02107 \cdot C1)$, com $r^2 = 0,9813$. Decisores propensos ao risco costumam optar por consequências probabilísticas. De tal modo, foi possível identificar por meio da elicitación com o decisor que a característica de propensão dentro de um complexo aéreo é muito comum em termos de custos, mas isso também pode depender da quantidade de recursos disponíveis naquele instante. Para o intervalo elicitado, conforme pode ser observado por meio da função utilidade acima, o decisor configurou como propenso ao risco.

A partir das loterias abaixo foi possível chegar a função utilidade do atributo disponibilidade para o primeiro macro trecho.

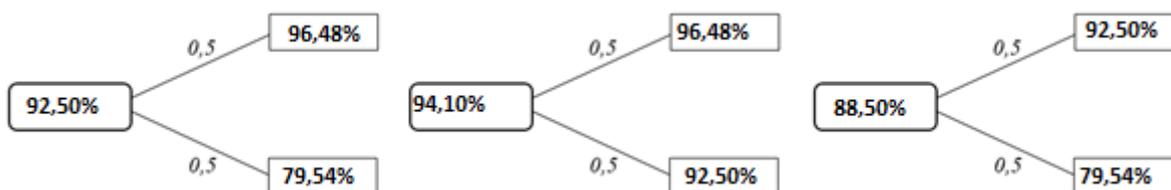


Figura 5.34: Equivalentes certos e loterias para a obtenção da $f(u_i)$ do critério disponibilidade

Fonte: Esta pesquisa (2016)

Tabela 5.14: Função utilidade da disponibilidade – Trecho 1

A_{1i}	$U(A_{1i})$
79,54%	0,000
88,50%	0,250
92,50%	0,500
94,10%	0,750
96,48%	1,000

Fonte: Esta pesquisa (2016)

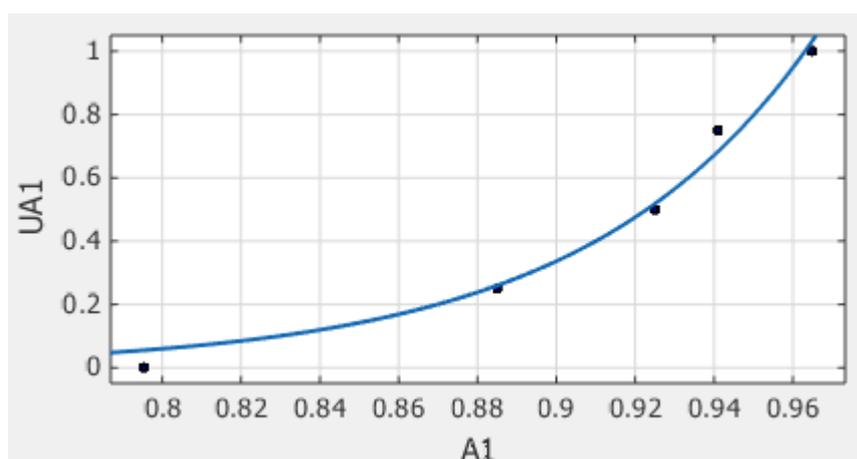


Figura 5.35: Função utilidade para o critério disponibilidade para o segundo macro trecho

Fonte: Esta pesquisa (2016).

Com a função utilidade do decisor $f(A_1) = 6,071e^{-08}(17,25 * A_1)$ foi obtido um coeficiente de determinação de 98,60% ($r^2 = 0,986$), de maneira que foi possível verificar que o decisor é propenso ao risco devido a função utilidade ser convexa. Nesse atributo, o decisor apresentou-se com características de propensão, isto é, prefere deixar o sistema operando por um período maior correndo o risco de 50% de chance de ter uma disponibilidade maior e 50% de chance de obter uma disponibilidade menor. O decisor foi claro ao dizer que estaria disposto a “pagar” por uma consequência probabilística para tentar ter uma disponibilidade maior. Decisores com comportamento de propensão ao risco preferem assumir riscos associados a loteria frente a consequências esperadas.

O segundo macro trecho também foi elicitado para o critério custo e posteriormente para o critério de disponibilidade, considerando o respectivo espaço de consequências. O resultado final dessa elicitación da função utilidade do decisor para custo do segundo macro trecho pode ser observada abaixo:

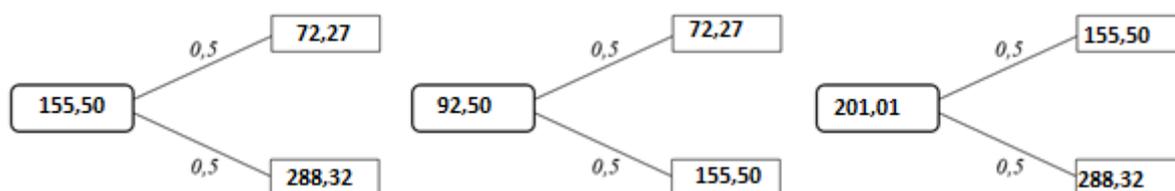


Figura 5.36: Equivalentes certos e loterias do critério custo – Trecho 2

Fonte: Esta pesquisa (2016).

Tabela 5.15: Função utilidade do custo – Trecho2

C2i	U (C2i)
288,32	0,000
201,01	0,250
155,50	0,500
92,50	0,750
72,27	1,000

Fonte: Esta pesquisa (2016)

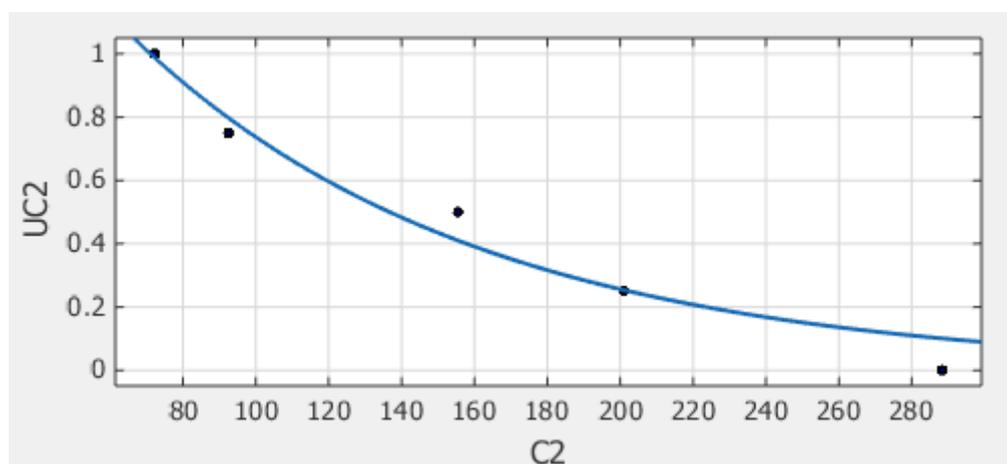


Figura 5.37: Função utilidade do custo – Trecho 2

Fonte: Esta pesquisa (2016).

Assim, a função utilidade do custo $f(c) = 2,118 \cdot \exp(-0,01056 \cdot C2)$ para o segundo macro trecho apresentou um coeficiente de determinação tal como: $r^2 = 0,9672$.

A partir da elicitación do critério de disponibilidade do segundo macro trecho, foi possível obter por meio da relação entre consequências certas e loteria a função utilidade, conforme segue:

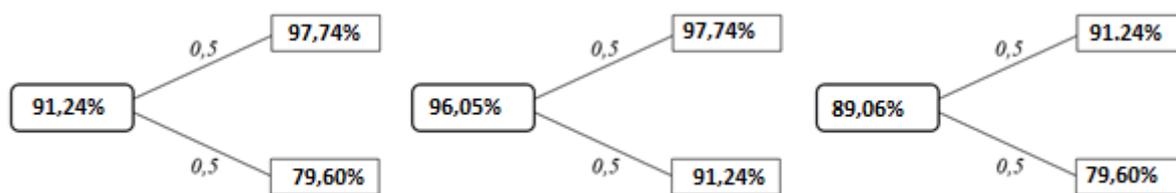


Figura 5.38: Equivalentes certos e loterias do critério disponibilidade do terceiro macro trecho

Fonte: Esta pesquisa (2016).

Tabela 5.16: Função utilidade da disponibilidade – Trecho 2

A2i	U (A2i)
79,60%	0,000
89,06%	0,250
91,24%	0,500
96,05%	0,750
97,74%	1,000

Fonte: Esta pesquisa (2016)

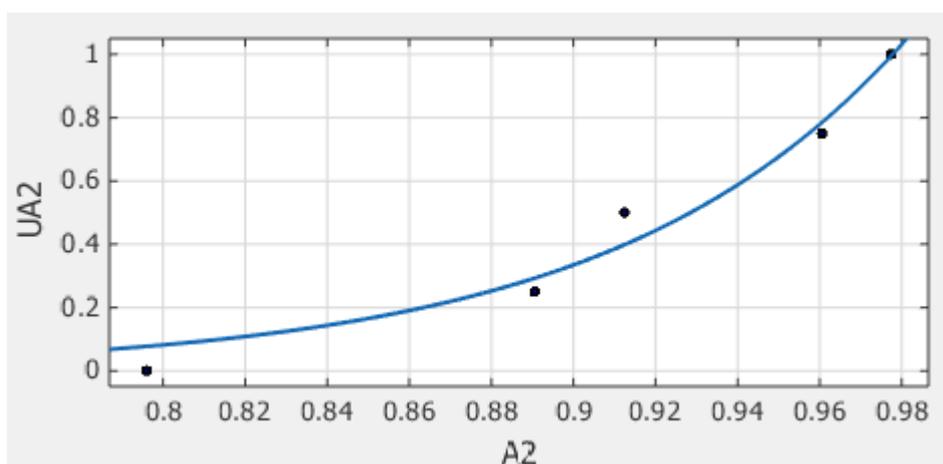


Figura 5.39: Função utilidade para o critério disponibilidade – Trecho 2

Fonte: Esta pesquisa (2016).

Do mesmo modo, com a função utilidade do decisor em relação a disponibilidade do segundo macro trecho $f(A) = 1,054e - 06. \exp(14,08 * A2)$ com $r^2 = 0,9692$, foi possível verificar que o decisor apresenta características de propensão ao risco.

O terceiro macro trecho foi elicitado também em relação ao atributo custo e depois em relação a disponibilidade. O resultado dessa interação pode ser visualizado:

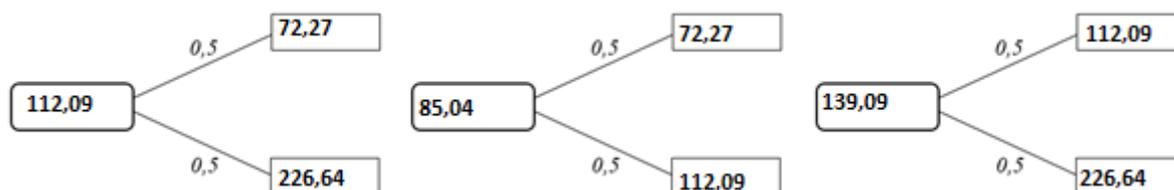


Figura 5.40: Equivalentes certos e loterias do critério custo – Trecho 3

Fonte: Esta pesquisa (2016).

Tabela 5.17: Função utilidade do custo – Trecho 3

C3i	U (C3i)
226,64	0,000
139,09	0,250
112,09	0,500
85,04	0,750
72,27	1,000

Fonte: Esta pesquisa (2016)

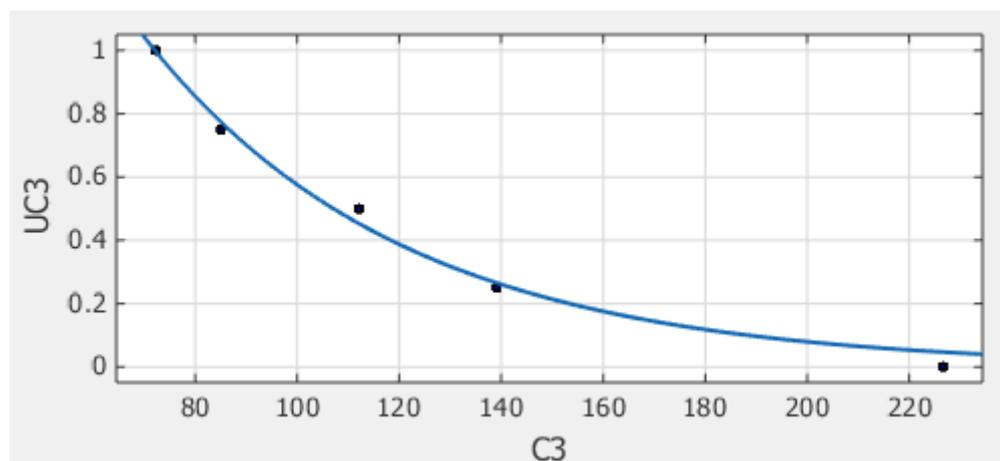


Figura 5.41: Função utilidade do custo – Trecho 3

Fonte: Esta pesquisa (2016).

Assim, a função utilidade do custo $f(c) = 4,165 \cdot \exp(-0,01979 \cdot C3)$ para o terceiro macro trecho apresentou um coeficiente de determinação tal como: $r^2 = 0,9918$.

A elicitación do atributo disponibilidade do terceiro macro trecho e a relação entre consequências certas e loteria da função utilidade pode ser observado:

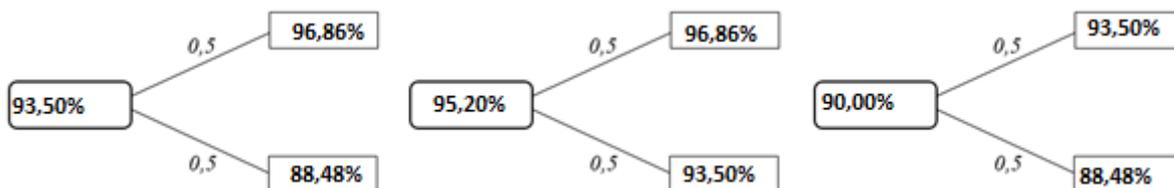


Figura 5.42: Equivalentes certos e loterias do critério disponibilidade do terceiro macro trecho

Fonte: Esta pesquisa (2016).

Tabela 5.18: Função utilidade da disponibilidade – Trecho 3

A3i	U (A3i)
88,48%	0,000
90,00%	0,250
93,50%	0,500
95,20%	0,750
96,86%	1,000

Fonte: Esta pesquisa (2016)

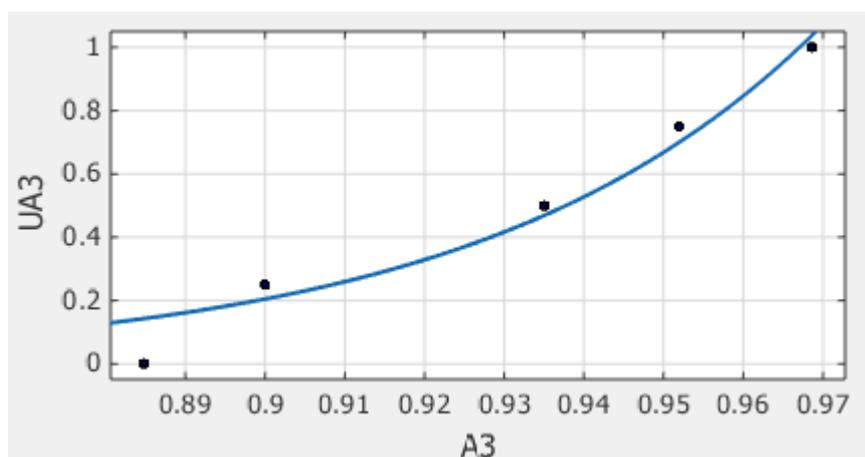


Figura 5.43: Função utilidade para o critério disponibilidade – Trecho 3

Fonte: Esta pesquisa (2016).

Portanto, a função utilidade do decisor em relação a disponibilidade do terceiro macro trecho resultou em $f(A) = 1,181e - 10 \cdot \exp(23,64 * A3)$ com $r^2 = 0,9567$.

Diante desse contexto, a partir das funções utilidades do decisor construídas a partir de cada critério para cada trecho, foi realizado procedimentos para obter a função utilidade multiatributo. Assim, o primeiro passo foi verificar a independência em utilidade e posteriormente a independência aditiva.

5.4.3.3 Verificação de independência em utilidade

Para dar continuidade ao procedimento para o uso do MAUT, se faz necessário que seja realizado uma análise das condições de independência entre os critérios (atributos). De acordo com Keeney e Raiffa (1976), quando a utilidade de um atributo não variar em relação a alguma modificação do outro atributo, então existirá independência em utilidade. Sendo assim, a independência em utilidade indica que, para determinado critério, independente do grau em que os outros critérios estejam, a ordem de preferência permanece a mesma. Nesse caso, a disponibilidade (A) é independente em utilidade do custo (C) quando as preferências condicionais dadas pelas loterias em A dado C, não dependerem de um nível particular de C.

Portanto, deve-se verificar se a função utilidade multiatributo do decisor muda

estrategicamente se o valor de C (custo) mudar de C^o para outro valor em C , ou seja, verificar se o equivalente certo mudará.

Desse modo, para garantir a independência em utilidade do custo (C) em relação a disponibilidade (A) foi verificado se o equivalente certo da loteria $[(C1^*, A1^*), p; (C1^1, A1^1), 1-p]$ e da loteria $[(C1^1, A1^*), p; (C1^*, A1^1), 1-p]$ será o mesmo para qualquer que seja o valor de $A1$; também se $[(C2^*, A2^*), p; (C2^1, A2^1), 1-p]$ e da loteria $[(C2^1, A2^*), p; (C2^*, A2^1), 1-p]$ será o mesmo para qualquer que seja o valor de $A2$. O mesmo procedimento foi feito para $A3$, $[(C3^*, A3^*), p; (C3^1, A3^1), 1-p]$ e da loteria $[(C3^1, A3^*), p; (C3^*, A3^1), 1-p]$, conforme a representação do elemento gráfico:

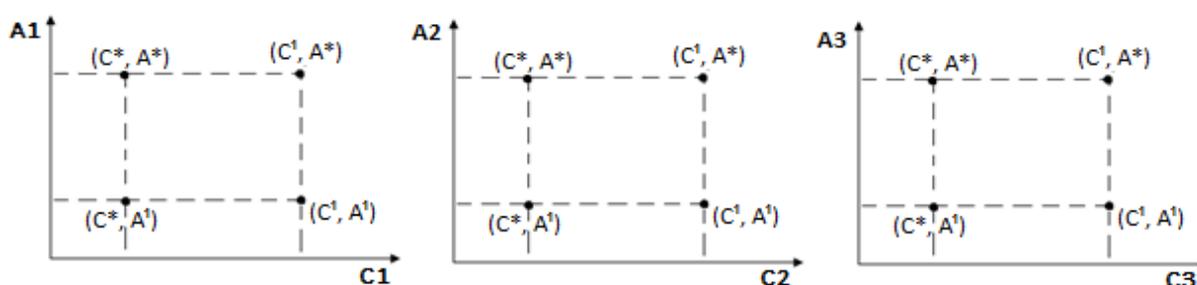


Figura 5.44: Verificação de independência em utilidade de C em relação a $A1$, $A2$ e $A3$

Fonte: Esta pesquisa (2016).

Após a construção da função utilidade para todos os critérios, o decisor foi questionado sobre as relações de preferências do primeiro macro trecho, intervalo entre 48 e 360 horas entre critérios. Assim foi perguntando: “Caso a disponibilidade do primeiro macro trecho fosse reduzida de 96,48% para 96,35%, depois para 96,17% e 95,99%, as relações de preferências construídas e indiferença entre consequências certas e loterias do custo iriam se manter?”. Em todos os casos o decisor respondeu que sim.

No segundo macro trecho houve o mesmo questionamento ao decisor em relação suas preferências, intervalo entre 48 e 552 horas entre critérios. Assim foi perguntando: “Caso a disponibilidade do segundo macro trecho fosse reduzida de 97,74% para 97,51%, depois para 97,37% e 97,04%, as relações de preferências construídas e indiferença entre consequências certas e loterias do custo iriam se manter?”. Em todos os casos o decisor afirmou que sim. Para o terceiro macro trecho, foi perguntado: “Caso a disponibilidade do terceiro macro trecho fosse reduzida de 96,86% para 96,62%, as relações de preferências construídas e indiferença entre consequências certas e loterias do custo iriam se manter?”. O decisor foi enfático em responder que sim, já que essa diferença ainda é preferida em relação a outras consequências.

Assim sendo, para verificar a independência em utilidade de disponibilidade (A1, A2 e A3) em relação ao custo (C1, C2 e C3) foi analisado se o equivalente certo da loteria [(A1*, C1*), p; (A1¹, C1¹), 1-p] e da loteria [(A1*, C1¹), p; (A1¹, C1*), 1-p] permaneceu o mesmo para qualquer que seja o valor de C1. O mesmo procedimento foi realizado para A2 e A3 em relação ao custo C1 e C2 respectivamente.

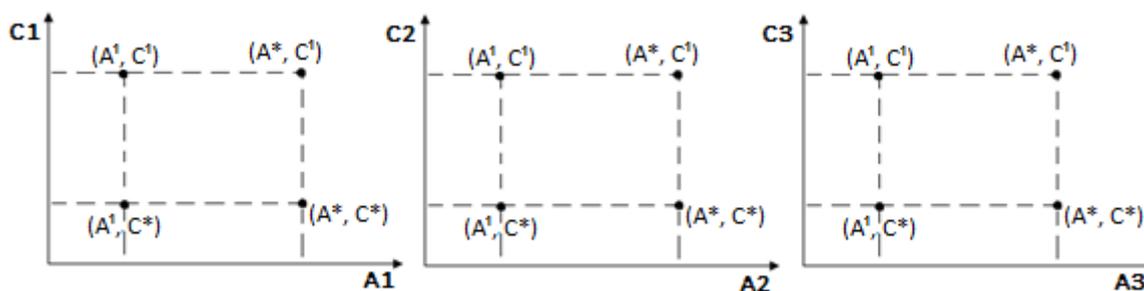


Figura 5.45: Verificação de independência em utilidade de C em relação a A1, A2 e A3

Fonte: Esta pesquisa (2016).

Nesse caso, o decisor foi questionado se as relações de preferência e indiferença construídas por meio da função da utilidade da disponibilidade se mantinham frente a uma variação do custo. Por isso, em relação ao primeiro macro trecho, o decisor foi questionado se aumentado o custo de 72,27 para 80,00 as relações de preferências de disponibilidade para esse trecho se mantinha. O decisor respondeu que sim. Posteriormente, foi perguntado ao decisor se um aumento de custo de 80,00 para 92,00 e de 92,00 para 105,00 até 205,46 mudaria sua relação de preferência e de indiferença entre consequências certas e loterias da função de disponibilidade. O decisor foi enfático ao dizer que as relações continuariam sólidas porque dentro desse intervalo estaria disposto a pagar qualquer valor para permanecer com as mesmas relações de disponibilidade.

Por outro lado, em relação ao segundo macro trecho, o decisor foi questionado se aumentado o custo de 72,27 para 92,50 as relações de preferências de disponibilidade para esse trecho se mantinha. O decisor respondeu que sim devido estar disposto a pagar para manter a mesma relação de disponibilidade para o trecho. Em seguida, o decisor foi questionado se um aumento de custo de 92,50 para 155,00 e de 155,00 até 288,32 alteraria sua relação de preferência e de indiferença entre consequências certas e loterias da função de disponibilidade. O decisor respondeu que as relações permaneceriam as mesmas contanto que tivesse relações de disponibilidade simulares.

No terceiro macro trecho, o decisor também foi questionado se um acréscimo no custo, nesse caso de 72,27 para 85,04, de 85,04 para 112,09 ou 139,09 até 226,64 implicaria em uma

alteração nas relações de preferências da disponibilidade. O decisor respondeu que não haveria qualquer alteração.

Assim sendo, os atributos dessa problemática configuram-se como mutualmente independente em utilidade. Portanto, segundo de Almeida (2013), a mútua independência em utilidade entre custo e disponibilidade gera uma condição que permite o uso do modelo analítico multilinear para a função utilidade multiatributo.

5.4.3.4 Verificação de independência aditiva

A condição de independência aditiva culmina na justificação e acaba por permitir que o modelo de agregação aditiva possa ser utilizado (DE ALMEIDA, 2013). Assim, com intuito de verificar a independência, foi apresentado duas loterias com probabilidade $p = 0,5$ de obtenção de uma consequência almejada, de modo que as alternativas de $(C1^*, A1^*)$ e $(C1^\circ, A1^\circ)$ foram expostas na primeira loteria, as opções de $(C2^*, A2^*)$ e $(C2^\circ, A2^\circ)$ foram expostas na segunda loteria e, $(C3^\circ, A3^*)$ e $(C3^*, A3^\circ)$ na terceira loteria. Analisando os dois cenários, ao ser questionado, o decisor disse ser indiferente entre as mesmas.

Assim, ao substituir os valores de $C1^*$ e $A1^*$ por qualquer valor, o decisor permaneceu indiferente entre as loterias.

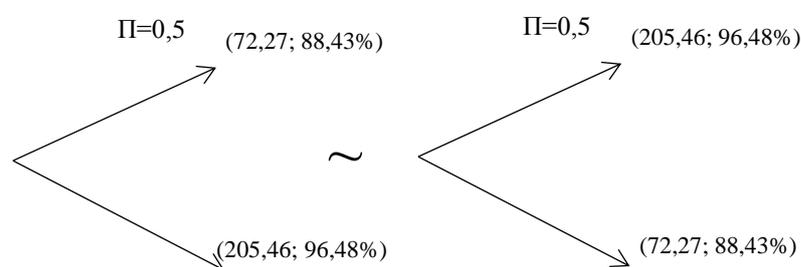


Figura 5.46: Loteria para avaliação de independência entre os atributos do primeiro macro trecho

Fonte: Esta pesquisa (2016)

Ao realizar o mesmo procedimento para $(C^*, A2^*)$ e $(C^1, A2^1)$ na primeira loteria e $(C^1, A2^*)$ e $(C^*, A2^1)$ na segunda loteria o decisor apresentou o mesmo comportamento de indiferença. De tal modo, o mesmo procedimento foi feito para o segundo macro trecho:

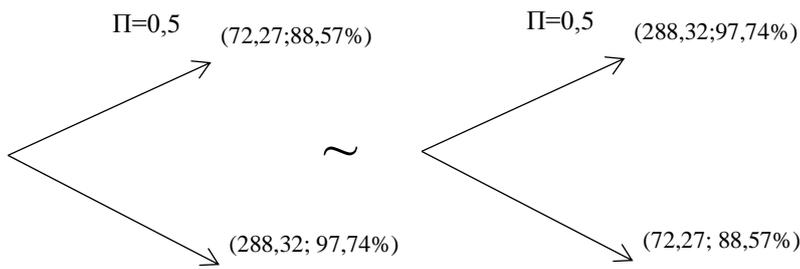


Figura 5.47: Loteria para avaliação de independência entre os atributos do segundo macro trecho

Fonte: Esta pesquisa (2016)

O terceiro macro trecho, conforme abaixo, também teve o mesmo processo, resultando em um comportamento de indiferença para o decisor frente as loterias expressas nos dois trechos.

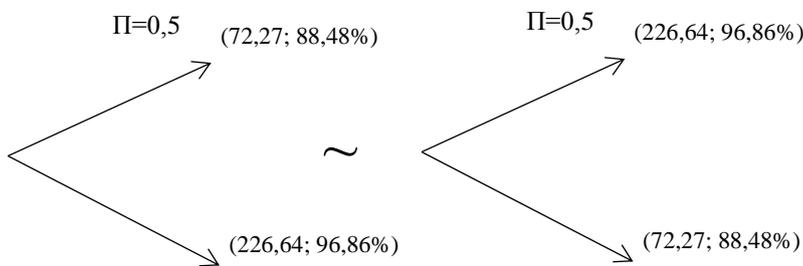


Figura 5.48: Loteria para avaliação de independência entre os atributos do terceiro macro trecho

Fonte: Esta pesquisa (2016)

Desse modo, esses processos resultaram em:

$$0,5.Cu(x^*).0,5.Au(y^*)+0,5.Cu(x^o).0,5.Au(y^o)=0,5.Cu(x^*).0,5.Au(y^o)+0,5.Cu(x^o).0,5.Au(y^*) \tag{Eq. 5.4}$$

Então:

$$u(x, y) = C.u(x) + A.u(y) \tag{Eq. 5.5}$$

Logo, a independência aditiva está confirmada devido ao decisor ter sido indiferente entre as loterias. Além disso, o equivalente certo apresentou-se como o mesmo para qualquer que seja C e A, configurando como mútua independência em utilidade de custo em relação a disponibilidade e disponibilidade em relação ao custo nos três trechos dentro do intervalo analisado para cada um dos casos.

5.4.3.5 Trade-off

Uma vez que a condição de independência aditiva foi confirmada, então é possível realizar o procedimento de trade-off. Para isso o espaço de consequências foi reduzido a esses valores, como ponto de referência da função utilidade multiatributo:

Tabela 5.19: Espaço de consequências por trechos

	Alternativas	Custo (\$)	A1 (%) - 1º macro trecho
A1	48 horas	72,27	88,43%
A2	360 horas	205,46	96,48%
	Alternativas	Custo (\$)	A2 (%) - 2º macro trecho
A1	48 horas	72,27	88,57%
A2	552 horas	288,32	97,74%
	Alternativas	Custo (\$)	A3 (%) - 3º macro trecho
A1	48 horas	72,27	88,48%
A2	552 horas	226,64	96,86%

Fonte: Esta pesquisa (2016)

Assim, uma vez que $C + A = 1$, então:

$u(72,27; 96,43\%) = 1$; e $u(205,46; 88,43\%) = 0$ para o primeiro macro trecho;

$u(72,27; 97,74\%) = 1$; e $u(288,32; 88,57\%) = 0$ para o segundo macro trecho;

$u(72,27; 96,86\%) = 1$; e $u(226,64; 88,48\%) = 0$ para o terceiro macro trecho.

Por meio da elicitaco, foi perguntado ao decisor sobre o primeiro macro trecho, se ele prefere ter um custo menor e perder em disponibilidade (alternativa 1) ou prefere ter uma disponibilidade maior, mas com um custo maior também (alternativa 2). O decisor foi direto ao responder que prefere ter uma disponibilidade maior por considerar que a variao do custo  baixa frente a possibilidade de obter uma disponibilidade maior. A preferência da disponibilidade com um custo maior (alternativa 2) frente ao custo com uma disponibilidade menor (alternativa 1), nesse caso, deve-se pelo decisor avaliar que a perda de disponibilidade pode gerar uma série de consequências atreladas a esse atributo. Posteriormente, a disponibilidade foi reduzida um pouco mais e o custo mantido (alternativa 3) e foi perguntado novamente ao decisor se ele era indiferente em relao a alternativa 1 e 3, ou seja, se ele estaria disposto a perder um pouco mais de disponibilidade e igualar as duas alternativas. Assim, o decisor respondeu que no seria indiferente entre a alternativa 1 e 3. Do mesmo modo, para dar continuidade ao processo de trade-off, a alternativa 2 (mais preferida) foi julgada frente a alternativa 4 (novo conjunto de valores apresentados). Igualmente, ao perguntar ao decisor sobre a preferência entre a alternativa 2 e a alternativa 4, o decisor disse ser indiferente entre elas.

Os resultados desse processo de trade-off do primeiro macro trecho pode ser observado por meio da tabela abaixo.

Tabela 5.20: Processo de trade-off - primeiro macro trecho

Custo (C) x Disponibilidade (A)			
Alternativa 1	x	Alternativa 2	Relao k
(72,27; 88,43%)	<	(205,46; 96,48%)	A2>A1

U (alter. 1) = KC	<	U (alter. 2) = KA	APC
Alternativa 1	x	Alternativa 3	Relação k
(72,27; 88,43%)	<	(205,46; 92,50%)	A3>A1
U (alter. 1) = KC	<	U (alter. 3) = KA	APC
Alternativa 2	x	Alternativa 4	Relação k
(205,46; 96,48%)	~	(72,27; 92,50%)	A2~A4
U (alter. 2) = KC	~	U (alter. 4) = KA	AIC

Fonte: Esta pesquisa (2016)

Já no segundo macro trecho o decisor apresentou as seguintes relações de preferências e indiferença entre as alternativas:

Tabela 5.21: Processo de trade-off - segundo macro trecho

Custo (C) x Disponibilidade (A)			
Alternativa 1	x	Alternativa 2	Relação k
(72,27; 88,57%)	<	(288,32; 97,74%)	A2>A1
U (alter. 1) = KC	<	U (alter. 2) = KA	APC
Alternativa 2	x	Alternativa 3	Relação k
(288,32; 97,74%)	~	(72,27; 91,24%)	A2~A3
U (alter. 2) = KC	~	U (alter. 3) = KA	AIC

Fonte: Esta pesquisa (2016)

No terceiro macro trecho obteve-se as respectivas relações de preferências e indiferença:

Tabela 5.22: Processo de trade-off - terceiro macro trecho

Custo (C) x Disponibilidade (A)			
Alternativa 1	x	Alternativa 2	Relação k
(72,27; 88,48%)	<	(226,64; 96,86%)	A2>A1
U (alter. 1) = KC	<	U (alter. 2) = KA	APC
Alternativa 1	x	Alternativa 3	Relação k
(72,27; 88,48%)	<	(226,64; 93,50%)	A3>A1
U (alter. 1) = KC	<	U (alter. 3) = KA	APC
Alternativa 2	x	Alternativa 4	Relação k
(226,64; 96,86%)	~	(72,27; 93,50%)	A2~A4
U (alter. 2) = KC	~	U (alter. 4) = KA	AIC

Fonte: Esta pesquisa (2016)

Então, a partir do processo de trade-off consigo calcular as constantes de escala. Para tal, os valores que foram reduzidos já têm sua função utilidade conhecida pela a elicitacão realizada nos processos anteriores. Têm-se então que:

$$kC = kC \cdot x + kA$$

$$kA = kC \cdot (1 - x)$$

Eq. 5.6

Onde, sabe-se que $kC + kA = 1$. Resultando em:

$$kC + kC \cdot (1 - x) = 1$$

$$kA = C \cdot (1 - x)$$

$$kC + kC - kC \cdot x = 1$$

$$kA = \frac{1}{(2 - x)} \cdot \frac{(1 - x)}{1}$$

$$2 \cdot kC - kC \cdot x = 1$$

$$kC \cdot (2 - x) = 1$$

$$kA = \frac{(1 - x)}{(2 - x)}$$

$$kC = \frac{1}{(2 - x)}$$

$$\text{Logo: } kC = \frac{1}{(2-x)} \text{ e } kA = \frac{(1-x)}{(2-x)}$$

Eq. 5.7

Dessa forma, C1 refere-se à função utilizada do custo para o primeiro macro trecho e A1 a função disponibilidade do primeiro macro trecho. Já C2 e A2 são funções utilidade do segundo macro trecho, assim como C3 e A3 é para o terceiro. Todas essas funções dependem do intervalo entre inspeções (tempo).

5.4.3.6 Determinação das constantes de escala

Para cálculo das constantes de escala do primeiro macro trecho têm-se para a alternativa 2, conforme seção 5.4.3.5, do primeiro macro trecho:

$$U(C1, A1) = K1 \cdot u1(C1) + K2 \cdot u2(A1)$$

$$U(205,46; 96,48\%) = K1 \cdot (0) + K2 \cdot (1)$$

$$U(205,46; 96,48\%) = 1K2$$

$$U(\text{alternativa 2}) = 1K2$$

Eq. 5.8

Para a alternativa 4 do mesmo macro trecho têm-se:

$$U(72,27; 92,50\%) = K1 \cdot u1(72,27) + K2 \cdot u2(92,50\%)$$

$$U(72,27; 92,50\%) = K1 \cdot (1) + K2 \cdot (0,5)$$

$$U(\text{alternativa 4}) = 1 \cdot K1 + 0,5 \cdot K2$$

Devido o decisor ter classificado a alternativa 2 e a alternativa 4 como indiferentes, logo conclui-se que:

$$U(\text{alternativa 2}) = 1 \cdot K2 = U(\text{alternativa 4}) = 1 \cdot K1 + 0,5 \cdot K2$$

$$K2 = K1 + 0,5 \cdot K2$$

$$K1 = 0,5 \cdot K2$$

Logo:

$$K1 + K2 = 1 \text{ (normalizado)}$$

$$0,5 \cdot K2 + K2 = 1$$

$$K2 = 0,67$$

$$K1 = 0,33$$

Então:

$$U(C1, A1) = K1 \cdot u1(C1) + K2 \cdot u2(A1)$$

$$U(C1, A1) = 0,33 \cdot u1(C1) + 0,67 \cdot u2(A1)$$

O mesmo procedimento foi feito para o segundo macro trecho. Nesse caso, o decisor foi indiferente entre a alternativa 2 e a alternativa 3. De modo que a obtenção das constantes de escala foi:

$$U(C2, A2) = K1 \cdot u1(C2) + K2 \cdot u2(A2)$$

$$U(288,32; 97,74\%) = K1 \cdot (0) + K2 \cdot (1)$$

$$U(288,32; 97,74\%) = 1K2$$

$$U(\text{alternativa 2}) = 1K2$$

Eq. 5.9

Para a alternativa 3 do macro trecho três têm-se:

$$U(72,27; 91,24\%) = K1 \cdot (0,5) + K2 \cdot (0,5)$$

$$U(72,27; 91,24\%) = 0,5 \cdot K1 + 0,5 \cdot K2$$

Logo:

$$U(\text{alternativa 2}) = 1 \cdot K2 = U(\text{alternativa 3}) = 0,5 \cdot K1 + 0,5 \cdot K2$$

$$1 \cdot K2 = 0,5 \cdot K1 + 0,5 \cdot K2$$

$$K1 = 0,5 \cdot K2$$

Assim:

$$K1 + K2 = 1 \text{ (normalizado)}$$

$$0,5 \cdot K2 + K2 = 1$$

$$K2 = 0,67$$

$$K1 = 0,33$$

Onde:

$$U(C2, A2) = K1 \cdot u1(C2) + K2 \cdot u2(A2)$$

$$U(C2, A2) = 0,33.u1(C2) + 0,67.u2(A2)$$

O procedimento para o terceiro macro trecho foi o mesmo. Assim, as alternativas 2 e 4 foram indiferentes para o decisor:

$$U(C3, A3) = K1.u1(C3) + K2.u2(A3)$$

$$U(226,64; 96,86\%) = K1.(0) + K2.(1)$$

Eq. 5.10

$$U(\text{alternativa 2}) = 1K2$$

Para a alternativa 4 têm-se:

$$U(72,27; 93,50\%) = K1.(1) + K2.(0,5)$$

$$U(\text{alternativa 4}) = 1.K1 + 0,5.K2$$

Como o decisor classificou a alternativa 2 e a alternativa 4 como indiferentes, logo:

$$U(\text{alternativa 2}) = 1.K2 = U(\text{alternativa 4}) = 1.K1 + 0,5.K2$$

$$K2 = K1 + 0,5.K2$$

$$K1 = 0,5.K2$$

Por isso:

$$K1 + K2 = 1 \text{ (normalizado)}$$

$$0,5.K2 + K2 = 1$$

$$K2 = 0,67$$

$$K1 = 0,33$$

Então:

$$U(C3, A3) = K1.u1(C3) + K2.u2(A3)$$

$$U(C3, A3) = 0,33.u1(C3) + 0,67.u2(A3)$$

5.4.3.7 Função utilidade multiatributo e solução ótima

Com as constantes de escala determinadas e as funções objetivos do custo e disponibilidade definidos, sendo as mesmas independentes em utilidade e na forma aditiva, foi necessário e possível otimizar as duas funções em relação ao tempo para obter Z. Dessa maneira, por meio da ferramenta *optimtool* e *fminsearch* do matlab foi possível encontrar o melhor compromisso entre o custo e a disponibilidade.

Para o primeiro macro trecho a função utilidade multiatributo encontrada foi:

$$U(C1, A1) = 4,412.exp(-0,02107 * C1) + 6,071e^{-08}.exp(17,25 * A1) \quad \text{Eq. 5.11}$$

Logo, com os pesos de cada constante de escala a função multiatributo foi otimizada e obteve-se a solução ótima, como segue:

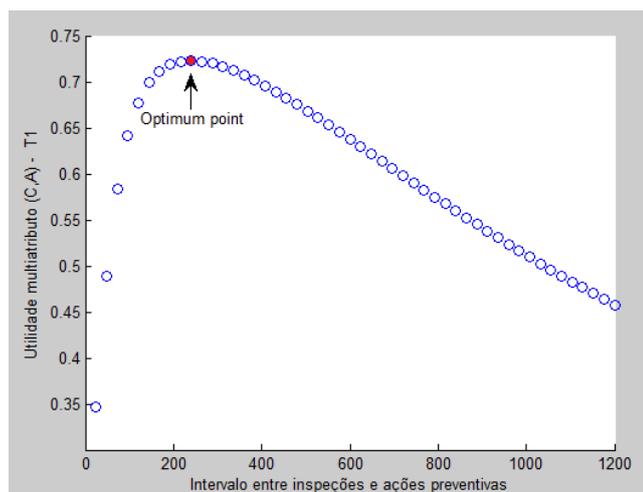


Figura 5.49: Função multiatributo do primeiro macro trecho

Fonte: Esta pesquisa (2016)

Portanto, para que os dois critérios pudessem ser considerados ao mesmo tempo a função multiatributo foi otimizada e chegou-se a uma solução ótima. Sendo assim, o melhor compromisso entre o critério custo (intervalo de 48 horas) e o critério disponibilidade (360 horas) encontrado foi o de 239,69 horas (solução ótima). Assim, no primeiro macro trecho considerando o melhor compromisso entre o custo e a disponibilidade, as inspeções devem ser executadas no décimo dia. Atualmente, essa atividade é realizada a cada 168 horas. De tal modo, com a solução ótima os dois critérios (custo e disponibilidade) poderão ser atendidos comitadamente e o melhor compromisso entre os mesmos estará sendo desempenhado.

No segundo macro trecho o procedimento realizado foi o mesmo, assim a função multiatributo resultou em:

$$U(C2, A2) = 2,118 \cdot \exp(-0,01056 * C2) + 1,054e^{-06} \cdot \exp(14,08 * A2) \quad \text{Eq. 5.12}$$

Após a otimização da função multiatributo, considerando os pesos obtidos, obteve-se também a solução de compromisso para o segundo macro trecho da pista de pouso e decolagem:

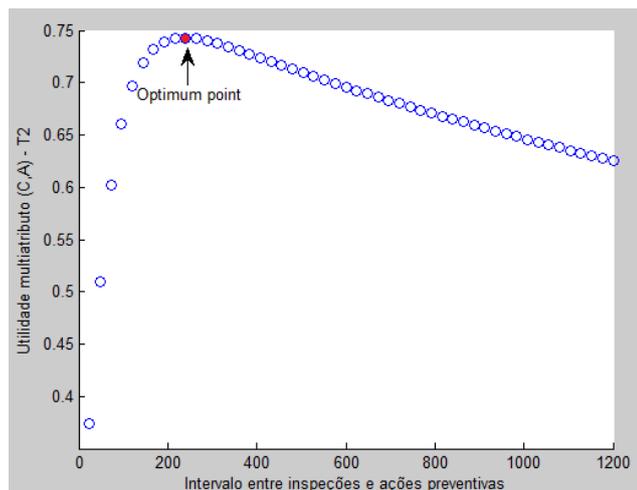


Figura 5.50: Função multiatributo do segundo macro trecho

Fonte: Esta pesquisa (2016).

Assim sendo, o ponto que atende ao critério custo e ao critério disponibilidade comitantemente resultou em 238,59 horas. Portanto, o melhor compromisso entre os atributos custo e disponibilidade será desempenhado se as inspeções no segundo macro trecho forem realizadas no intervalo de 238,59 horas.

Para o terceiro macro trecho a função multiatributo resultou em:

$$U(C3, A3) = 4,165 \cdot \exp(-0,01979 * C3) + 1,181e^{-10} \cdot \exp(23,64 * A3) \quad \text{Eq. 5.13}$$

A função foi otimizada com os respectivos pesos para cada atributo e a solução de compromisso foi encontrada:

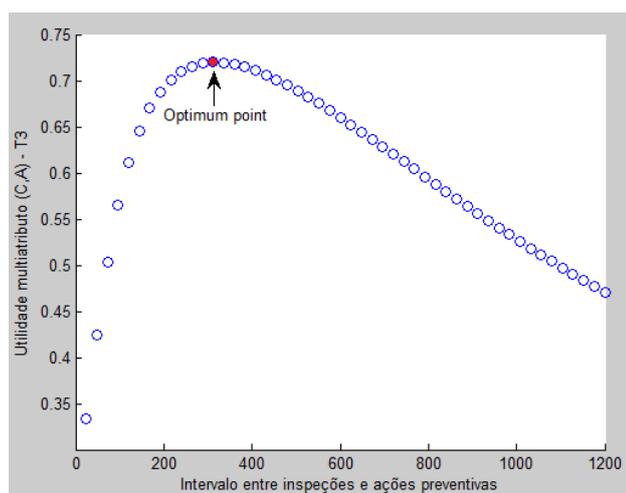


Figura 5.51: Função multiatributo do segundo macro trecho

Fonte: Esta pesquisa (2016).

Portanto, a solução que atende ao critério custo e ao critério disponibilidade simultaneamente resultou em um intervalo de 318,19 horas entre inspeções.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

6.1 CONCLUSÕES

O modelo *Delay Time* surgiu como uma abordagem que pudesse atender as problemáticas envolvendo inspeções e planejamento de intervenções preventivas na manutenção. Com a evolução do DTM, sua aplicação que se originou na construção civil se expandiu para áreas de manutenção industrial e pavimentação urbana. Nesse sentido, esse trabalho de pesquisa aplicou o DTM em um contexto de manutenção de pavimentos em uma pista de pouso e decolagem localizada na região Nordeste do Brasil, considerando custo e disponibilidade.

A modelagem e aplicação do DTM em revestimentos asfálticos em aeródromos objetivou determinar os tempos ótimos de inspeções e auxiliar no programa de manutenções preventivas, de modo que fosse possível traçar intervalos em que o defeito pudesse ser identificado antes da ocorrência de uma falha através de inspeções com foco no custo e na disponibilidade.

Nesse sentido, para a modelagem do custo esperado por inspeção foram utilizados dados da taxa de chegada de defeitos, taxa de falhas, dados de custos variáveis médios do defeito e de falha, custo fixo, custo ou multa de inspeção por inspetor e custo por deixar um defeito se tornar uma falha. Assim sendo, foi possível encontrar o custo de substituição por falha e o custo da preventiva para toda a pista de pouso e decolagem. Desse modo, foi possível determinar que, no aeródromo estudado, as inspeções e/ou intervenções preventivas devem ocorrer, em termos de custos, a cada 48 horas a um custo de 72,27 por inspeção.

Por outro lado, para a modelagem da disponibilidade a pista de pouso e decolagem do aeródromo estudado, foi desmembrada em três macro trechos para que o comportamento das falhas e intervenções fossem observadas de acordo com as características de cada trecho, uma vez que se supõe que o desgaste difere ao longo da pista, sobretudo por haver pontos específicos em que o pavimento será mais requerido pelas aeronaves. Diante dessa vertente, nas cabeceiras da pista as inspeções devem ser realizadas a cada 360 horas e a probabilidade do trecho estar disponível nesse período é de 96,48%. Por outro lado, no segundo macro trecho da pista, trecho que vai a partir da primeira cabeceira até 15% da pista se observado a pista em um único sentido (ou 30% se observado a pista nos dois sentidos como um todo), as inspeções e ações preventivas programadas nesse segundo macro trecho devem ocorrer em um intervalo de 552 horas. Assim, a probabilidade do segundo trecho estar disponível é de 97,74%. Já o terceiro macro trecho que consiste nos pontos com maior exploração dos pavimentos pelas aeronaves e configura-se como

o trecho que vai de 30% da pista até 50% da mesma em ambos os sentidos, teve um intervalo entre inspeções de 408 horas. Portanto, por meio da modelagem, foi possível constatar que nesse trecho as intervenções devem ocorrer a cada 408 horas com uma probabilidade de 96,86%.

Com intuito de apresentar o melhor compromisso que maximiza a utilidade para a resolução da problemática, de modo que os dois critérios pudessem ser desempenhados ao mesmo tempo, foi aplicado a teoria da utilidade multiatributo (MAUT) com base nas preferências do decisor coletadas por meio de processo de elicitación. Assim sendo, a partir da função utilidade multiatributo, considerando o custo e a disponibilidade comitantemente, foi possível encontrar o ponto ideal do primeiro, segundo e terceiro macro trecho da pista de pouso e decolagem. Assim sendo, o melhor compromisso entre o atributo custo e o atributo disponibilidade para o primeiro macro trecho foi de 239,69 horas, ou seja, as inspeções devem ocorrer nesse período. No segundo macro trecho as inspeções devem ser realizadas em um intervalo de 238,59 horas. Por outro lado, no terceiro macro trecho, a solução ideal encontrada indicou que as inspeções devem ser desempenhadas em um intervalo 318,19 horas.

Os modelos representam a realidade e passam a serem úteis a partir do momento que podem ser aplicados em casos reais. Por isso, esse trabalho visou aplicar em sua totalidade os conceitos de *delay time modelling* em pavimentos asfálticos de um aeródromo. Por meio desse modelo, espera-se contribuir com novas políticas de inspeção dentro da manutenção de pavimentos em outros complexos aeroportuários, seja em termos de custos ou de disponibilidade.

6.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Realização de um estudo envolvendo estratégias de manutenção para tratar do coeficiente de atrito e macrotextura. Essa abordagem tem potencial para contribuir para que os impactos causados por esses instrumentos possam ser medidos, sobretudo em relação a redução da disponibilidade de pistas de pouso e decolagens e no surgimento de falhas em pavimentos aeroportuários.

Sugere-se também, para a realização de trabalhos futuros, o desenvolvimento de uma política de manutenção visando compreender as principais estratégias e critérios que decisores estabelecem ao implementar ações voltadas a manutenção de pavimentos em aeródromos.

REFERÊNCIAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 5462. *Confiabilidade e Manutenibilidade*. Rio de Janeiro, 1994.

ACKOFF, R. L; SASIENI, M. W. *Fundamentos de Investigacion de Operaciones*. Editorial Limusa-Wiley S. A. Arcos de Belem, Vol. 75, ed. 1. México, 1971.

AKBAROV, A; CHRISTER, A. H; WANG, W. Problem identification in maintenance modelling: A case study. *International Journal of Production Research*, Vol. 46, n. 4, pp. 1031-1046, 2008.

ALBUQUERQUE, F. S; NÚÑEZ, W. P. Critérios para a tomada de decisão em obras rodoviárias. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, Vol. 10, n. 3, pp. 151-163, 2010.

ANAC – Agência Nacional de Regulação Civil. Certificação Operacional de Aeroportos. Regulamento Brasileiro da Aviação Civil – RBAC, nº 139, Emenda nº 02, 2012.

ANAC – Agência Nacional de Regulação Civil. *Dados Estatísticos dos Aeroportos no Brasil*. 2016. Disponível em: < <http://www.anac.gov.br/assuntos/dados-e-estatisticas/aeroportos>>. Acesso em: 28 ago. 2016.

ATICI, K. B; SIMSEK, A. B; ULUCAN, A; TOSUN, M. U. A GIS-based Multiple Criteria Decision Analysis approach for wind power plant site selection. *Utilities Policy*, Vol. 37, pp. 86-96, 2015.

BABIARZ, B; CHUDY-LASKOWSKA, K. Forecasting of failures in district heating systems. *Engineering Failure Analysis*, Vol. 56, pp. 384-395, 2015.

BAKER, R. D; CHRISTER, A. H. Review of delay-time OR modelling of engineering aspects of maintenance. *European Journal of Operational Research*, Vol. 73, n. 3, pp. 407-422, 1994.

BARLOW, R. E; PROSCHAN, F; HUNTER, L. C. *Mathematical Theory of Reliability*. Science, Vol. 148, n. 3674, pp. 1208-1209.

BERNUCCI, L. B; MOTTA, L. M. G; CERATTI, J. A. P; SOARES, J. B. *Pavimentação asfáltica: Formação básica para engenheiros*. Rio de Janeiro, Ed. Petrobrás, 2008.

BERTOLINI, M; BEVILACQUA, M; BRAGLIA, M; FROSOLINI, M. An analytical method for maintenance outsourcing service selection. *Quality and Reliability Management*, Vol. 21, n. 7, pp. 772-788, 2004.

BLANCHARD, B; VERMA, D; PETERSON, E. Maintainability: A Key to Effective Serviceability and Maintenance Management. *Jonh Wiley e Sons, Inc.*, New York, 1995.

BRAHIMIPOUR, V; NAJJARBASHI, A; SHEIKHALISHAHI, M. Multi-objective modeling for preventive maintenance scheduling in a multiple production line. *Journal of Intelligent Manufacturing*, Vol. 26, pp. 111-122, 2015.

BRANCO, R. *Pavimento Flexível*. Manutenção e Suprimentos, 2011. Disponível em: <<http://www.manutencaoesuprimentos.com.br/conteudo/4728-o-que-e-pavimento-flexivel/>>. Acesso em: 26 ago. 2016.

CAMPOGRANDENSE. *Pavimento flexível versus rígido*. Campo Grande, 2012. Disponível em: <<http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=1059521epage=18>>. Acesso em: 04 ago. 2016.

CARNEIRO, T. M. S. V. As influências da construção da Linha Verde, na ampliação do aeroporto de Confins e no desenvolvimento da região. Belo Horizonte, 2009. (Pós-graduação em Administração Pública – Fundação Getúlio Vargas).

CARR, M. J. Incorporating the potential for human error in maintenance models. *Journal of the operational research society*, Vol. 54, n. 12, pp. 1249-1253, 2003.

CASSADY, C. R; KUTANOGLU, E. Minimizing Job Tardiness using Integrated Preventive Maintenance Planning and Production Scheduling. *IIE Transactions*, Vol. 35, n. 6, pp. 503-513, 2003.

CAVALCANTE, C. A. V. *Minuta de Apostila: Engenharia de Manutenção*. Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2011.

CHRISTER, A. H. Developments in delay time analysis for modelling plant maintenance. *Journal of the Operational Research Society*, Vol. 50, pp. 1120-1137, 1999.

CHRISTER, A. H. Innovatory Decision Making. In: Bowen, K; White, D. J. (eds.): *Proc. NATO Conference on Role and Effectiveness of Decision Theory in Practice*. 1976.

CHRISTER, A. H. Modelling inspection policies for building maintenance. *Journal of the Operational Research Society*, Vol. 33, n. 8, pp. 723-732, 1982.

CHRISTER, A. H. Prototype modelling of irregular condition monitoring of production plant, *IMA Journal of Mathematics Applied in Business & Industry*, Vol. 3, n. 3, pp. 219-232, 1992.

CHRISTER, A. H., WALLER, W. M. Delay time models of industrial inspection maintenance problems, *Journal of the Operational Research Society*, Vol. 35, n. 5, pp. 401-406, 1984a.

CHRISTER, A. H; LEE, C; WANG, W. Data deficiency based parameter estimating problem and case study in delay time PM modeling. *International Journal of Production Economics*, Vol. 67, n. 1, pp. 63-76, 2000.

CHRISTER, A. H; LEE, S. K. Modelling ship operational reliability over a mission under regular inspections. *Journal of the Operational Research Society*, Vol. 48, pp. 688-699, 1997.

CHRISTER, A. H; REDMOND, D. F. Revising models of maintenance and inspection. *International Journal of Production Economics*, Vol. 24, n. 3, pp. 227-234, 1992.

CHRISTER, A. H; WALLER, W. M. An operational research approach to planned maintenance: modelling P.M. for a vehicle fleet, *Journal of the Operational Research Society*, Vol. 35, n. 11, pp. 967-984, 1984b.

CHRISTER, A. H; WANG, W. A; BAKER, R. D. A; SHARP, J. B. Modelling maintenance practice of production plant using the delay-time concept. *IMA Journal of Management Mathematics*, Vol. 6, n. 1, pp. 67-83, 1995.

CHRISTER, A. H; WANG, W; SHARP, J; BAKER, R. A case study of modelling preventive maintenance of a production plant using subjective data. *Journal of the operational research*, Vol. 49, n. 3, pp. 210-219, 1998.

CLEMENTE, T; DE ALMEIDA-FILHO, A. T; ALENCAR, M. A Decision Support System Based on RCM Approach to Define Maintenance Strategies. *Enterprise Information Systems of the Future Processing*, Vol. 139, pp. 122-133, 2013.

COELLO, C. A. C; LAMONT, G. B; VELDHUIZEN, D. A. V. *Evolutionary Algorithms for Solving Multi-Objective Problems*. Springer, Ed. 2, 2007.

CRONEY, D. *The design and performance of road pavements*. London: Her Majesty's Stationery Office, 1977.

DE ALMEIDA, A. T. Multicriteria model for selection of preventive maintenance intervals. *Quality and Reliability Engineering International*, Vol. 28, pp. 585–593, 2012a.

DE ALMEIDA, A. T. Multicriteria Model for Selection of Preventive Maintenance Intervals. *Quality and Reliability Engineering International*, Vol. 28, n. 6, pp.585-593, 2012b.

DE ALMEIDA, A. T. *O conhecimento e o uso de métodos multicritério de apoio a decisão*. 1 eds. revisão e ampliação – Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2010. 204 p.

DE ALMEIDA, A. T. *O conhecimento e o uso de métodos multicritério de apoio a decisão*. 2 eds. revisão e ampliação – Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2011. 234 p.

DE ALMEIDA, A. T. *Processo de Decisão nas Organizações: construindo modelos de decisão multicritério*. São Paulo, Editora Atlas, 2013.

DE ALMEIDA, A. T; CAVALCANTE, C. A. V; ALENCAR, M. H; FERREIRA, R. J. P; DE ALMEIDA-FILHO, A. T; GARCEZ, T. V. *Multicriteria and Multiobjective Models for Risk, Reliability and Maintenance Decision Analysis*. International Series in Operations Research & Management Science. Califórnia: Springer, Vol. 231, 2015.

DE ALMEIDA, A. T; SOUZA, F. M. C. (Organizadores). *Gestão da Manutenção*. Recife, Editora Universitária, 2001.

DEKKER, R; SCARF, P. A. On the impact of optimisation models in maintenance decision making: the state of the art. *Reliability Engineering e System Safety*, Vol. 60, n. 2, pp. 111-119, 1998.

DESA, M.I; CHRISTER, A. H. Modelling in the absence of data: a case study of fleet maintenance in a developing country. *Journal of the Operational Research Society*, Vol. 52, n. 3, pp. 247-260, 2001.

DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT 005/2003. *Defeitos nos pavimentos flexíveis e semirrígidos - terminologia*. Rio de Janeiro, 2003a.

DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT 009/2003. *Avaliação subjetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semirrígidos: procedimento*. Rio de Janeiro, 2003b.

DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT 085/2006 – ES. *Demolição e remoção de pavimentos: asfáltico ou concreto – Especificação de serviço*. Rio de Janeiro, 2006c.

DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT IPR-720 - ES. *Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos*. Rio de Janeiro, 2006d.

DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT 031/2006. *Pavimentos Flexíveis: Concreto asfáltico - Especificação de serviço*. Rio de Janeiro, 2006a.

DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. *Manual da Pavimentação*, Ed. 3, Rio de Janeiro, 2006b.

FAA – Airport Pavement Management Program. Advisory Circular – AC 150/5335-5A. *Federal Aviation Administration*. United States Department of Transportation. Washington/DC, 2006.

FAB – Força Aérea Brasileira (GTA TEAM). *Cabeceira de Pista*. 2016. Disponível em: <<http://gtafab.webs.com/teoria.htm>>. Acesso em: 09 ago. 2016.

FERREIRA, H. L. *Uso de Conhecimento a Priori de Especialistas no Dimensionamento de sobressalentes para a Manutenção do Sistema na Celpe*. Recife, 2001. (Mestrado Profissional – Departamento de Engenharia de Produção / Universidade Federal de Pernambuco).

FONSECA, O. A. *Manutenção de Pavimentos de Aeroportos*. Diretoria de Engenharia da Aeronáutica. Divisão de Estudos e Projetos de Infraestrutura. Ministério da Aeronáutica. Brasília/DF, 1990.

GIL, A. C. *Métodos e Técnicas de Pesquisa Social*. 5ª ed. São Paulo: Atlas, 1999.

GLUSHKOV, G. I; BABKOV, V. F; GORETSKY, L. I; SMIRNOV, A. S. *Airport Engineering*. Mir Publishers Moscow. Union of Soviet Socialist Republics, 1988.

GOLDNER, L. G. *Minuta de apostila: Aeroportos*. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2012.

GOOGLE MAPS. *Cabeceira 18 da pista de pouso e decolagem do Aeroporto Internacional de Recife*. 2016. Disponível em: <<https://www.google.com/maps/@-8.11422,-34.92712,394m/data=!3m1!1e3>>. Acesso em: 10 ago. 2016.

GOOGLE MAPS. *Visão aérea do Aeroporto Internacional de Recife*. 2015. Disponível em: <https://logimg.files.wordpress.com/2015/07/proposta-plano-diretor-reforma-aeroporto-guararapes-recife-pernambuco_sem-legendas.jpg>. Acesso em: 26 ago. 2016.

HAMMOND, J; KEENEY, R; RAIFFA, H. *Decisões Inteligentes: somos movidos a decisões – como avaliar alternativas e tomar a melhor decisão*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004.

HANASHIRO, F. Importância da manutenção e recuperação de estradas vicinais. *Revista CON-AID Brasil*. Joinville, 2011.

HASSANAIN, M. A; ASSAF, S; AL-HAMMAD, A-M; AL-NEHMI, A. A multi-criteria decision making model for outsourcing maintenance services. *Facilities*, Vol. 33, pp. 229-244, 2015.

HEINRICH, G; BASSON, L; COHEN, B; HOWELLS, M; PETRIE, J. Ranking and selection of power expansion alternatives for multiple objectives under uncertainty. *Energy*, Vol. 32, pp. 2350-2369, 2007.

HILLIER, F. S; LIEBERMAN, G. J. *Introdução a Pesquisa Operacional*. Edição 8, São Paulo: McGrawhill, 2006.

HIRO, F. *Análise do tempo de falha*. Portal Action, 2016. Disponível em: <<http://www.portalaction.com.br/confiabilidade/analise-do-tempo-de-falha>>. Acesso em: 27 set. 2016.

HORA, M., 1987. The unglamorous game of managing maintenance. *Business Horizons*, Vol. 30, pp. 67-75, 1987.

ICAO - International Civil Aviation Organization. Annex 14 to the Convention on International Civil Aviation. Aerodrome Design and Operations. Vol. 1, ed. 4. Montreal, Canadá, 2004.

INFRAERO – Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária. Aeroporto Internacional do Recife/Guararapes - Gilberto Freyre. Coleta de dados para estudo de caso, 2016b.

INFRAERO – Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária. *Complexo Aeroportuário do Aeroporto Internacional do Recife/Guararapes - Gilberto Freyre*. 2016a. Disponível em: <<http://www.infraero.gov.br/index.php/br/aeroportos/pernambuco/aeroporto-internacional-do-recife/complexo-aeroportuario.html>>. Acesso em: 24 jul. 2016.

INFRAERO – Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária. Relatórios Anuais. 2016c. Disponível em: <<http://www.infraero.gov.br/index.php/br/institucional/relatorios-anuais.html>>. Acesso em: 24 ago. 2016.

INPUT ANALYZER. 2015. Version 14.70.00. Copyright 2015. *Rockywell Automation Technologies*, In: Arena Version 14.70.00006. License: Serial - STUDENT-STUD. ID: STUD.

ISHIZAKA, A; NEMERY, P. Assigning machines to incomparable maintenance strategies with ELECTRE-SORT. *Omega*, Vol. 47, pp. 45-59, 2014.

JARDINE, A. K. S; LIN, D; BANJEVIC, D. *Sistemas mecânicos e de processamento de sinal*. Vol. 20, n. 7, 2006.

JIA, X; CHISTER, A. H. Case Experience Comparing the RCM Approach to Plant Maintenance with a Modeling Approach. In: *Case Studies in Reliability and Maintenance*, Ed. Wallace R. Blischke and D. N. Prabhakar Murthy. *Wiley Series in Probability and Statistics*, pp. 477-493, 2003.

JIAN, R.; JI, P. Age Replacement Policy: A Multi-Attribute Value model. *Reliability Engineering and System Safety*, Vol. 76, pp. 311-318, 2002.

JODEJKO-PIETRUCZUK, A; WERBIŃSKA-WOJCIECHOWSKA, S. A delay-time model with imperfect inspections for multi-unit systems. *Journal of Konbin*, Vol. 23, n. 1, pp. 157-172, 2012.

JODEJKO-PIETRUCZUK, A; WERBIŃSKA-WOJCIECHOWSKA, S. Block inspection policy for nonseries technical objects. *Safety, Reliability and Risk Analysis: Beyond the Horizon*, pp. 889-898, 2014.

JONES, B; JENKINSON, I; WANG, J. Methodology of using delay-time analysis for a manufacturing industry, *Reliability Engineering and System Safety*, Vol. 94, pp. 111-124, 2009.

KEENEY, R. L. *Value Focused Thinking – A Path to Creative Decisionmaking*. Harvard University Press, 1992. London, England. 415 p.

KEENEY, R. L; RAIFFA, H. *Decision with Multiple Objectives: Preferences and Value Trade-offs*. 1976. John Wiley e Sons, Inc.

KEENEY, R. L; RAIFFA, H. *Decision with Multiple Objectives: Preferences and Value Trade-offs*. 1993. Cambridge University Press.

KOBBACY, K. A. H; MURTHY, D. N. P. *Complex System Maintenance Handbook*. Springer Series in Reliability Engineering. New Jersey: Springer, 2008.

LAFRAIA, João Ricardo Barusso. *Manual de confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade*. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2014.

LAKATOS, E. M; MARCONI, M. A. *Fundamentos de metodologia científica*. Edição 3, São Paulo: Atlas, 1985.

LEOTTI, V. B; BIRCK, A. R; RIBOLDI, J. Comparação dos Testes de Aderência à Normalidade Kolmogorov-Smirnov, Anderson-Darling, Cramer–Von Mises e Shapiro-Wilk por Simulação. Simpósio de Estatística Aplicada à Experimentação Agronômica, 11^a edição; *Reunião Anual da Região Brasileira da Sociedade Internacional de Biometria*, 50^a edição, *Anais*. Londrina - PR, 2005.

LEUNG, F; MAK, K. L. Using delay-time analysis to study the maintenance problem of gearboxes. *International Journal of Operation & Production Management*, Vol. 16, n. 12, pp. 98-99, 1998.

LEWIS, B.T. *Facility Manager's Operation and Maintenance Handbook*. New York: McGraw-Hill, 1999.

LINDERMANN, J; HANSEN, P. B. Utilização de Métodos de Apoio à Decisão para decisões estratégicas: o caso da manutenção de embarcações de transporte de cargas. *Revista de Administração Mackenzie*, Vol. 9, n. 2, pp. 173-200, 2008.

LIPI, T. F; LIM, J-H; ZUO, M. J. A condition- and age-based replacement model using *delay time modelling*. *Journal of Risk and Reliability*, Vol. 226, n. 2, pp. 221-233, 2012.

LOPES, M. M; BRANCO, J. B; SOARES, J. B. Utilização dos testes estatísticos de Kolmogorov-Smirnov e Shapiro-Wilk para verificação da normalidade para materiais de pavimentação. *Transportes*, Vol. 21, n. 1, 2013.

LOPES, R. S; CAVALCANTE, C. A. V; ALENCAR, M. H. Delay-time inspection model with dimensioning maintenance teams: A study of a company leasing construction equipments. Vol. 38, pp. 341-349, 2015.

MARSARO, M. F. Estudo de Robustez e Análise de Sensibilidade no modelo Multicritério para Gerenciamento de Risco em Gasodutos baseado em MAUT. Recife, 2016. (Mestrado Acadêmico – Departamento de Engenharia de Produção / Universidade Federal de Pernambuco).

MARTZ, H. F; WALLER, R. A. Bayesian Reliability Analysis. *John Wiley e Sons, Inc.*, 605 Third Ave., New York, Ny 10158, 1982, 704, 1982.

MATLAB. Versão R2012a, série 7.14.0.739. License number: 161052. MathWorks, 2012.

MEYER, P. L. *Probabilidade: Aplicações à Estatística*. Editora: LTC, Rio de Janeiro, p. 444, 2011.

MIGUEL, P. A. C. (Org.). *Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações*. Edição 2, Rio de Janeiro: Elsevier, 2011.

MIGUEL, Paulo Augusto Cauchick (Org.). *Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações*. 2ª edição. Rio de Janeiro: Elsevier, 2011.

MIRSHAWKA, V.; OLMEDO, N. L. *Manutenção: Combate aos custos de não-eficácia: A vez do Brasil*. São Paulo: Makron Books, 1993.

MONTE, M. B. S. Abordagem Multicritério para Definição de Intervalos de Manutenção Preventiva em Bombas para Abastecimento de Água. Recife, 2015, 107p (Mestrado Acadêmico – Departamento de Engenharia de Produção / Universidade Federal de Pernambuco).

MONTE, M. B. S; DE ALMEIDA-FILHO, A. T. A Multicriteria Approach Using MAUT to Assist the Maintenance of a Water Supply System Located in a Low-Income Community. *Water Resour Manage*, Vol. 30, pp. 3093-3106, 2016.

MUCHANGA, A. Estudo e Análise de Confiabilidade e Manutenção em Pavimentos Asfálticos: Uma Abordagem *delay time modelling*. Recife, 2016, 104p (Mestrado Acadêmico – Departamento de Engenharia de Produção / Universidade Federal de Pernambuco).

MURTHY, D. N. P; KARIM, M. R; AHMADI, A. Data management in maintenance outsourcing. *Reability Engineering and System Safety*. Vol. 142, pp. 100-110, 2015.

NAKAGAWA, T. Maintenance Theory of Reliability. *Springer Series in Reliability Engineering*, London: Springer, 2005.

NEPOMUCENO, L. X. *Técnicas de Manutenção Preditiva*. Edição 1, São Paulo: Blucher, 2014.

OLIVEIRA, F. H. L. Proposição de Estratégias de Manutenção de Pavimentos Aeroportuários Baseadas na Macrotextura e no Atrito: Estudo de Caso do Aeroporto Internacional de Fortaleza. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2009, 139p (Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes / UFCE).

OSSAI, C; BOSWELL, B; DAVIES, I. Stochastic modelling of perfect inspection and repair actions for leak–failure prone internal corroded pipelines. *Engineering Failure Analysis*, Vol. 60, pp. 40-60, 2016.

OSYCZKA, A. *Multicriteria optimization for engineering design*. In J. S. Gero, editor, Design Optimization, pp. 193–227. Academic Press, 1985.

ÖZTUNA, D; ELHAN, A. H; TÜCCAR, E. Investigation of Four Different Normality Tests in Terms of Type 1 Error Rate and Power under Different Distributions. *Journal of Medicine Cincinnati*. Vol. 36, n. 3, pp. 171-176, 2006.

PILLAY, A; WANG, J; WALL, A. Optimal inspection period for fishing vessel equipment: a cost and down time model using delay time analysis. *Mar Technol SNAME N*, Vol. 38, n. 2, pp. 122–129, 2001.

PINJALA, S. K; PINTELON, L; VEREECKE, A. An empirical investigation on the relationship between business and maintenance strategies. *Journal Production Economics*, Vol. 104, pp. 214-229, 2006.

QUADROS, D. S. Minuta de apostila: *Rede viária florestal*. Universidade Regional de Blumenau. Blumenau, 2004.

QUIRINO, M. E. P. Recuperação de pavimentos flexíveis em áreas de taxiamento de aeronaves: Um estudo de caso da pista FOX-2 do Aeroporto Internacional Tancredo Neves. Belo Horizonte, 2013 (Programa de Pós-Graduação em Construção Civil / UFMG).

R Core Team (2013). R: A language and environment for statistical. Extension: Action 2013. Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponível em: <<http://www.R-project.org/>>.

RAIFFA, H. *Decision Analysis: Introductory Lectures on Choices Under Uncertainty*. Front Cover. Random House, 1968 - Business & Economics - 309 p.

RIGDON, S. E; BASU, A. P. Statistical Methods for the Reliability of Repairable Systems. *John Wiley e Sons*, New York, 2000.

RODRIGUES, R. M. *Gerência de Pavimentos*. Notas de aula – Parte II. Instituto Tecnológico da Aeronáutica. Centro Aeroespacial. São José dos Campos/SP, 1999.

ROY, B. Classement et choix em présence de points de vue multiples (la méthode ELECTRE). *Recherche Opérationnelle - Operations Research* 2, p.57-75, 1968.

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

SCAPIN, C. A. *Análise Sistêmica de Falhas*. Edição 2, Belo Horizonte: Falconi, 2013.

SCARF, P. A; CAVALCANTE, C. A. Modelling quality in replacement and inspection maintenance. *Journal Production Economics*, Vol. 135, pp. 372–381, 2012.

SCARF, P. A; MAJID, H. A. Modelling warranty extensions: a case study in the automotive industry. *Journal of Risk and Reliability*, Vol. 225, n. 2, pp. 251-265, 2011.

SHAPIRO, S. S; WILK, M. B. An Analysis of Variance Test for Normality (Complete Samples). *Biometrika Trust*, London, Vol. 52, pp. 591-609, 1965.

SHIMIZU, T. *Decisão nas organizações: introdução aos problemas de decisão encontrados nas organizações e nos sistemas de apoio à decisão*. São Paulo: Atlas, 2001.

SAYERS, M.W.; KARAMIHAS, S.M. *The little book of profiling. Basis information about measuring an interpreting road profiles*. The Regent of the University of Michigan. 1998. 98p.

SILVA, A. L. O; CAVALCANTE, C. A. V; VASCONCELOS, N. V. C. A multicriteria decision model to support the selection of suppliers of motor repair services. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, pp. 1-10, 2015.

SILVA, P. F. A. *Manual de Patologia e Manutenção de Pavimentos*. Editora Pini. São Paulo/SP, 2005.

SMITH, J. Q. *Decision Analysis – A Bayesian Approach*. Chapman and Hall, 1988.

SÓRIA, M. H. A. Comprimento de pista. Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos, 2006 (Departamento de Transportes – STT / USP).

STENSTRÖM, C; NORRBIN, P; PARIDA, A; KUMAR, U. Preventive and corrective maintenance - cost comparison and cost-benefit analysis. *Structure and Infrastructure Engineering*, Vol. 12, ed. 5, pp. 603-617, 2016.

SWANSON, L. Linking maintenance strategies to performance. *International Journal of Production Economics*. Vol. 70, 2001.

TAKAHASHI, R. H. C. *Minuta de Apostila: Otimização Escalar e Vetorial*. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2007.

TERVONEN, T; FIGUEIRA, J. R; LAHDELMA, R; DIAS, J. A; SALMINEN, P. A stochastic method for robustness analysis in sorting problems. *European. Journal of Operational Research*, Vol. 192, pp. 236-242, 2009.

TRANSPORT CANADÁ. *Pavement Structural Condition (Integrity)*. Civil Aviation (CA), 2007. Disponível em: <www.tc.gc.ca/CivilAviation>. Acesso em: 27 ago. 2016.

TROJAN, F. MORAIS, D. C. Using ELECTRE TRI to support maintenance of water distribution networks. *Pesquisa Operacional*, Vol. 32. Rio de Janeiro, 2012.

VIRGILLITO, S. B. *Estatística Aplicada*. Edicon, 3^a ed. 2006. 590p.

VOO VIRTUAL. *Runway*. 2015. Disponível em: <<http://www.voovirtual.com/t37376-os-numeros-pintados-nas-pistas-de-pouso-e-a-faixa-de-pedestre>>. Acesso em: 27 ago. 2016.

WANG, W. A model of multiple nested inspections at different intervals. *Computers e Operations*, Vol. 27, n. 6, pp. 539-558, 2000.

WANG, W. An inspection model based on a three-stage failure process. *Reliability Engineering and System Safety*, Vol. 96, n. 7, pp. 838-848, 2011.

WANG, W. An overview of the recent advances in delay-time-based maintenance modelling. *Reliability Engineering and System Safety*, Vol. 106, pp. 165-178, 2012.

WANG, W. *Delay Time Modelling*. Complex System Maintenance Handbook. *Reliability Engineering*, pp 345-370, 2008.

WANG, W. Subjective estimation of the delay time distribution in maintenance modelling. *European Journal of Operational Research*, Vol. 99, n. 3, pp. 516-529, 1997.

WANG, W; BANJEVIC, D; PECHT, M. A multi-component and multi-failure mode inspection model based on the delay time concept. *Reliability Engineering & System Safety*, Vol. 95, n. 8, pp. 912-920, 2010.

WANG, W; CHRISTER, A. H. Solution algorithms for a nonhomogeneous multi-component inspection model. *Computers e Operations*, Vol. 30, n. 1, pp. 19-34, 2003.

WANG, W; JIA, X. An empirical bayesian based approach to delay time inspection model parameters estimation using both subjective and objective data. *Quality and Reliability Engineering International*, Vol. 23, n. 1, pp. 95-105, 2007.

WEIBULL, W. *A statistical distribution function of wide applicability*. Journal of applied mechanics-transactions of the asme. Vol. 18, n. 3, pp. 293-297, 1951.

WELLS, A. T; YOUNG, S. B. *Airport Planning & Management*. 5^a Edition. McGraw-Hill. New York, 2004.

WERNER, L. Modelagem dos tempos de falhas ao longo do calendário. Porto Alegre, 1996 (Escola de Engenharia - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção / UFRS).

WU, Y. P; HU, Q. P; XIE, M; NG, S. H. Modeling and analysis of software fault detection and correction process by considering time dependency. *IEEE Transactions on Reliability*, Vol. 56, n. 4, pp. 629-642, 2007.

YIN, Robert. K. *Estudo de caso, planejamento e métodos*. Edição 3, Porto Alegre: Bookman, 2005.

ZELENY, M. *Six concepts of optimality*. In: TIM/ORSA Joint National Meeting. Boston, 1994.

ZWINGELSTEIN, G. C. RCM Approach to Maintaining a Nuclear Power Plant. *Annual Reliability and Maintainability Symposium*, 1999.

APÊNDICE A – ROTEIRO PARA COLETA DE DADOS SUBJETIVOS

ROTEIRO: ESTUDO DE CASO

Essa entrevista tem por objetivo a coleta dados subjetivos referentes a alguns parâmetros relacionados à modelagem de uma política de gerenciamento da manutenção de uma pista de pouso em aeródromos. Esta coleta de dados subjetivos contempla um processo de elicitação baseado em Raiffa (1968) visando a explicitação do conhecimento a priori de um especialista (tácito), adquirido através das percepções e experiências de um especialista de manutenção em aeródromos. Na ausência de dados representativos, este procedimento permite estimar uma probabilidade subjetiva. As informações obtidas neste procedimento não possuem por objetivo avaliar o especialista ou a qualidade da manutenção e serviços realizados no âmbito da organização, portanto, a finalidade deste instrumento é apenas para fornecer os parâmetros requeridos pelo modelo de gestão da manutenção e sua aplicação numérica. A imagem e identidade do especialista serão preservadas, sem a divulgação de qualquer informação que possa comprometer o mesmo.

DADOS GERAIS DA EMPRESA:
CNPJ:
Localização:

IDENTIFICAÇÃO DO ESPECIALISTA

Nome:

Cargo:

Tempo de empresa: _____

Formação:

I - FALHAS

1 - Qual o custo de deixar um defeito (buraco ou outra deformação) virar uma falha (Custo/multa de inconveniência)?

II - INSPEÇÃO

2 - Qual o tempo efetivo de inspeção na pista de pouso e decolagem por dia? Se o período for das 08:00 às 16:00 horas, existe algum tipo de pausa (horário de almoço, etc.)? E para as outras áreas (taxiways, TPS, etc.)? Ou qual a frequência que as inspeções são realizadas?

III – NORMATIVA

3 - Qual tamanho de buraco (em m²) ou outra deformação é considerado um defeito?

4 - Qual tamanho de buraco irá parar a pista de pouso e decolagem (falha) ou outro componente do aeroportuário? Qual o tamanho máximo aceitável?

5 - Qual o tamanho de um buraco considerado pequeno (P), médio (M) e grande (G)?

P: _____

M: _____

G: _____

IV - DISPONIBILIDADE

6 - Atividades como desemborramento da pista, varrição mecânica, medição de atrito, manutenções em sinalizações horizontais e verticais podem ser considerados condições para garantir a disponibilidade da pista para pouso e decolagem?

Não () Sim (), por quê? _____

7 - Caso uma manutenção na pista de pouso e decolagem não saia como o planejado e faça com que algum voo atrase. A Infraero arca com os custos de atrasos que a empresa aérea irá ter com passageiros ou a Infraero é multada pela ANAC (em caso de redução de disponibilidade por algum erro humano de operação)? Se sim, qual é o custo/multa por hora de indisponibilidade?

V – OPERAÇÃO

8 - Qual o tempo de operação do aeroporto (pouso e decolagem) total em dias de demanda normal?

9 - Qual o número pousos diários?

	Segunda a sexta	Sábado e Domingo
Mínimo:		
Médio:		
Máximo:		

VI - OUTRAS (Complementares):

10 - Qual a pressão mínima dos pneus das aeronaves aceitável para a pista de pouso? De modo que não interfira no desempenho do pavimento.

11 - Qual a política de manutenção da Infraero de Recife? (Segue quais manuais ou normas)

MOPS () SG _____ Outros: _____

12 - Quantas vezes por ano costuma ser realizado o desemborrachamento de pista?

13 - A pista de pouso e decolagem apresenta quantos milímetros (mm) de macrotextura?

Classificação da Macrotextura pela Profundidade Média - T

MUITO FECHADA $T < 0,2$ mm.

FECHADA $0,2 \text{ mm} < T < 0,4$ mm.

MÉDIA $0,4 \text{ mm} < T < 0,8$ mm.

ABERTA $0,8 \text{ mm} < T < 1,2$ mm.

MUITO ABERTA $T > 1,2$ mm.

14 - Existe algum equipamento de manutenção preditiva para inspecionar os pavimentos? Por exemplo, o Deflectometro de Impacto (Falling Weight Deflectometer - FWD). Obs: sistema de raio-x, que coleta e registra a situação estrutural do pavimento, determinando a capacidade de resistência aos esforços decorrentes do tráfego.

VII – ELICITAÇÃO

1 – Calibração do Especialista - Tempo gasto de deslocamento de casa para o trabalho (horas)

(X)	F (X)
	0,010
	0,125
	0,250
	0,375
	0,500
	0,625
	0,750
	0,875
	0,990

2 – Tempo médio de reparo -MTTR (horas)

(X)	F (X)
	0,010
	0,125
	0,250
	0,375
	0,500
	0,625
	0,750
	0,875
	0,990

3 - Tempo médio entre falhas – MTBF (horas)

(X)	F (X)
	0,010
	0,125
	0,250
	0,375
	0,500
	0,625
	0,750
	0,875
	0,990

4 – Tempo médio gasto em cada inspeção na pista de pouso e decolagem 18/36 (horas)

(X)	F (X)
	0,010
	0,125
	0,250
	0,375
	0,500
	0,625
	0,750
	0,875
	0,990

5 – Operação da pista de pouso e decolagem (Se a pista de pouso e decolagem parar, quais os tempos prováveis). Parâmetro: Tempo de parada (horas)

(X)	F (X)
	0,010
	0,125
	0,250
	0,375
	0,500
	0,625
	0,750
	0,875
	0,990

_____ , _____ de _____ de _____ .

ANEXO A – LAYOUT DO AEROPORTO INTERNACIONAL DE RECIFE

