

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**PROGRAMA DE MESTRADO EM ENGENHARIA DE TRANSPORTES**

**PROPOSIÇÃO DE ESTRATÉGIAS DE MANUTENÇÃO DE PAVIMENTOS  
AEROPORTUÁRIOS BASEADAS NA MACROTEXTURA E NO ATRITO:  
ESTUDO DE CASO DO AEROPORTO INTERNACIONAL DE FORTALEZA**

**FRANCISCO HEBER LACERDA DE OLIVEIRA**

**FORTALEZA - CE**

**2009**

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**PROGRAMA DE MESTRADO EM ENGENHARIA DE TRANSPORTES**

**PROPOSIÇÃO DE ESTRATÉGIAS DE MANUTENÇÃO DE PAVIMENTOS  
AEROPORTUÁRIOS BASEADAS NA MACROTEXTURA E NO ATRITO:  
ESTUDO DE CASO DO AEROPORTO INTERNACIONAL DE FORTALEZA**

**Francisco Heber Lacerda de Oliveira**

**Dissertação submetida ao Programa de  
Mestrado em Engenharia de Transportes  
(PETRAN) da Universidade Federal do  
Ceará (UFC), como parte dos requisitos para  
obtenção do Título de Mestre em Engenharia  
de Transportes.**

**ORIENTADOR:  
Prof. Dr. Eng. Ernesto Ferreira Nobre Júnior**

**FORTALEZA**

**2009**

## **FICHA CATALOGRÁFICA**

FRANCISCO HEBER LACERDA DE OLIVEIRA

Proposição de Estratégias de Manutenção de Pavimentos Aeroportuários Baseadas na Macrot textura e no Atrito: Estudo de Caso do Aeroporto Internacional de Fortaleza. / Francisco Heber Lacerda de Oliveira  
203 fls.: il. Color.; Enc.

Orientador: Ernesto Ferreira Nobre Júnior

Área de Concentração: Infra-Estrutura de Transportes

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2009.

1. Pavimentos. 2. Aeroportos. 3. Infra-estrutura (transportes) I. Nobre Júnior, Ernesto Ferreira (Orientador) II. Universidade Federal do Ceará – Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes - PETRAN III. Título

## **REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA**

OLIVEIRA, F.H.L. (2009). Proposição de Estratégias de Manutenção de Pavimentos Aeroportuários Baseadas na Macrot textura e no Atrito: Estudo de Caso do Aeroporto Internacional de Fortaleza. Dissertação de Mestrado, Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, 178 pág.

## **CESSÃO DE DIREITOS**

NOME DO AUTOR: Francisco Heber Lacerda de Oliveira

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO: Proposição de Estratégias de Manutenção de Pavimentos Aeroportuários Baseadas na Macrot textura e no Atrito: Estudo de Caso do Aeroporto Internacional de Fortaleza.

Mestre / 2009

É concedida à Universidade Federal do Ceará permissão para reproduzir cópias desta Dissertação de Mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

---

Francisco Heber Lacerda de Oliveira  
Rua Bismarck, 262 – Parangaba  
60.710-110 – Fortaleza/CE – Brasil

**PROPOSIÇÃO DE ESTRATÉGIAS DE MANUTENÇÃO DE PAVIMENTOS  
AEROPORTUÁRIOS BASEADAS NA MACROTEXTURA E NO ATRITO:  
ESTUDO DE CASO DO AEROPORTO INTERNACIONAL DE FORTALEZA**

**Francisco Heber Lacerda de Oliveira**


**DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO PROGRAMA DE  
MESTRADO EM ENGENHARIA DE TRANSPORTES DA UNIVERSIDADE  
FEDERAL DO CEARÁ COMO PARTE DOS REQUISITOS PARA OBTENÇÃO  
DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA DE TRANSPORTES.**

**Aprovada por:**



---

**Prof. Ernesto Ferreira Nobre Júnior, Dr. Eng.  
(Orientador)**



---

**Profa. Suelly Helena de Araújo Barroso, Dra. Eng.  
(Examinadora Interna – UFC)**



---

**Profa. Liedí Légi Bariani Bernucci, Dra. Eng.  
(Examinadora Externa – POLI/USP)**

**FORTALEZA**

**2009**

*“Tudo tem seu tempo. Há um  
momento oportuno para cada coisa  
debaixo do céu”.*

*Ecl 3, 1.*

## DEDICATÓRIA

*Ao Senhor Deus Rei do Universo,  
digno de receber o louvor, a honra,  
o poder e a majestade!*

## AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Barboza e Fátima, e à minha irmã, Camila, por acreditarem na continuação dos meus estudos e na escolha deste Mestrado.

À minha noiva e fiel companheira, Cielle, pela paciência, carinho e compreensão nos momentos em que estive ausente.

Ao meu orientador, e agora amigo, Professor Ernesto Ferreira Nobre Júnior, pela amizade e confiança conquistadas, pela atenção e disposição de sempre querer ajudar e exigir o melhor de mim.

Ao Senhor Wellington Santos da Silva, Superintendente da INFRAERO no Aeroporto Internacional de Fortaleza, na época da pesquisa, pelo apoio, incentivo, sugestões e pela confiança depositada.

Ao colega-aeroportuário Alessandro Barbosa, Encarregado de Atividades de Pátio na época da pesquisa, pelo apoio motorizado nos pátios e pistas; ao colega-engenheiro Paulo Hortêncio, pelo seu incansável trabalho e detalhamento de algumas figuras inseridas nesta pesquisa, ambos da INFRAERO em Fortaleza, e; à colega-bibliotecária da Sede da Empresa, Leila Xavier, pelas idas e vindas da maioria das obras estudadas e aqui referenciadas.

À Professora Suelly Barroso e ao Professor Sérgio Benevides, pelas observações efetuadas por ocasião do Exame de Qualificação.

Aos colegas-Mestres Bruno Tiago e Paulo Loiola, pela convivência no Petran.

À Diretoria de Engenharia da Aeronáutica – DIRENG, especialmente ao Tenente-Engenheiro Felipe Santana Lopes, pelo repasse dos materiais.

Enfim, e principalmente, ao Senhor Deus Rei do Universo, pela proteção eterna, pela bondade infinita e por permitir que mais um sonho fosse realizado em minha vida. Afinal, é Dele mais essa vitória alcançada!



Resumo da Dissertação submetida ao PETRAN/UFC como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Mestre em Engenharia de Transportes.

PROPOSIÇÃO DE ESTRATÉGIAS DE MANUTENÇÃO DE PAVIMENTOS  
AEROPORTUÁRIOS BASEADAS NA MACROTEXTURA E NO ATRITO:  
ESTUDO DE CASO DO AEROPORTO INTERNACIONAL DE FORTALEZA

Francisco Heber Lacerda de Oliveira

Março / 2009

Orientador: Ernesto Ferreira Nobre Júnior

O funcionamento integral de um complexo aeroportuário depende necessariamente da adequada condição operacional da infraestrutura relacionada à movimentação das aeronaves em solo, ou seja, dos pavimentos das pistas de pousos e de decolagens, das pistas de taxiamento e dos pátios de manobras. A precariedade, a ineficiência ou a inexistência dessas facilidades, sobretudo das pistas de pousos e de decolagens, tornam impraticáveis as operações das aeronaves e de seus equipamentos de apoio em um aeroporto. A deterioração gradual desses pavimentos é um dos fatores que contribuem para ocorrências de incidentes e/ou acidentes envolvendo as aeronaves. Diante desse problema, as práticas de conservação e de restauração dos pavimentos aeroportuários devem ser tratadas com prioridade e responsabilidade pelos seus administradores, apesar dessa tarefa ser bastante difícil e os recursos financeiros envolvidos, na maioria dos casos, serem altos e escassos. Essas práticas apontam para a necessidade indispensável de estarem inseridas em um Sistema de Gerência de Pavimentos Aeroportuários, este funcionando como uma ferramenta primordial na gestão da infraestrutura e no processo de tomada de decisões, além de serem implementadas com base em parâmetros funcionais reconhecidos internacionalmente, tais como a macrotextura e o coeficiente de atrito. Estas relevantes variáveis, por suas evidentes contribuições à segurança de vôo, são igualmente recomendadas pela Organização da Aviação Civil Internacional e aplicadas nos principais aeroportos brasileiros através de regulamentação da Agência Nacional de Aviação Civil. Esta pesquisa, portanto, objetiva propor estratégias de manutenção de pavimentos aeroportuários baseadas nos parâmetros funcionais referenciados anteriormente e foi realizada no Aeroporto Internacional Pinto Martins, em Fortaleza, estado do Ceará, em virtude da sua importância para o desenvolvimento da região Nordeste do Brasil e, principalmente pela degradação verificada nos seus pavimentos, em especial da sua pista de pousos e de decolagens, ocasionada pela ausência de práticas regulares de conservação e de restauração ao longo de sua operação. Os dados obtidos de ensaios realizados nessa pista de pousos e de decolagens mostram sérios problemas funcionais, com destaque para a área correspondente ao ponto de toque das aeronaves.

Abstract for Thesis submitted to PETRAN/UFC as a part of requirements for the obtaining of Master's Title in Transportation Engineering.

PROPOSE AN AIRPORT PAVEMENT MAINTENANCE STRATEGIES BASED ON  
MACROTEXTURE AND FRICTION: CASE STUDY OF FORTALEZA  
INTERNATIONAL AIRPORT

Francisco Heber Lacerda de Oliveira

March / 2009

Advisor: Ernesto Ferreira Nobre Júnior

The integral functioning of an airport complex necessarily depends on the adequate operating condition of the infrastructure related to the movement of aircraft on ground, that is, of the pavement of the runways, taxiways and the aprons. The precariousness, the inefficiency or the inexistence of these facilities, especially the runways, become the operations of aircraft impracticables and its support equipment in an airport. The gradual deterioration of these pavements is one of the factors contributing to occurrences of incidents and/or accidents involving the aircrafts. In this problem, the practices of conservation and restoration of airports pavements should be treated with priority and responsibility for their managers, although this task is very difficult and the financial resources involved, in most cases, are high and scarce. These practices point to the essential need to be included in a Airport Pavement Management System, this acts as a essential tool in managing the infrastructure and the decision-making process and are implemented on the basis of internationally recognized functional parameters, such as the macrotexture and the coefficient of friction. These relevants variables, for their obvious contributions to flight safety, are also recommended by the International Civil Aviation Organization and implemented in the main brazilian airports through regulation of the Civil Aviation National Agency. This research, therefore, aims to propose strategies for maintenance of airport pavement based on the functional parameters mentioned above and was held at Pinto Martins International Airport, in Fortaleza, state of Ceará, in view of its importance to the development of the Brazilian Northeast region, and mainly by the degradation found in their pavements, in particular its runways, caused by lack of regular practice of conservation and restoration throughout its operation. Data obtained from tests that runway show serious functional problems, with emphasis on the area corresponding to the point of touch of the aircraft.

## SUMÁRIO

### CAPÍTULO 1

<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>01</b>
1.1. JUSTIFICATIVA .....	01
1.2. PROBLEMA DE PESQUISA .....	04
1.3. OBJETIVO GERAL .....	04
1.3.1 Objetivos Específicos .....	04
1.4. METODOLOGIA .....	05
1.5. DETALHAMENTO DO TRABALHO .....	06

### CAPÍTULO 2

<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>07</b>
2.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	07
2.2. ATIVIDADES DE UM SISTEMA DE GERÊNCIA DE PAVIMENTOS .....	08
2.2.1. Planejamento .....	14
2.2.2. Projeto .....	15
2.2.3. Construção .....	15
2.2.4. Manutenção .....	16
2.2.5. Avaliação .....	18
2.2.6. Pesquisa .....	18
2.2.7. Banco de Dados .....	19
2.3. SISTEMAS DE GERÊNCIA DE PAVIMENTOS AEROPORTUÁRIOS .....	20
2.4. TÉCNICAS DE MANUTENÇÃO .....	29
2.5. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	35

### CAPÍTULO 3

<b>ESCOLHA DA ÁREA DO ESTUDO DE CASO</b> .....	<b>36</b>
3.1. A ORIGEM DO AEROPORTO INTERNACIONAL DE FORTALEZA .....	36
3.2. A INFRAERO .....	45
3.3. A OPERACIONALIDADE DO AEROPORTO INTERNACIONAL DE FORTALEZA .....	50
3.4. A INFRAESTRUTURA DO AEROPORTO INTERNACIONAL DE FORTALEZA .....	52
3.5. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	59

**CAPÍTULO 4**

<b>CONDIÇÕES ESTRUTURAIS DOS PAVIMENTOS AEROPORTUÁRIOS</b> .....	<b>60</b>
4.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	60
4.2. CARACTERÍSTICAS ESTRUTURAIS .....	61
4.3. RESISTÊNCIA DOS PAVIMENTOS AEROPORTUÁRIOS.....	72
4.4. AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES ESTRUTURAIS.....	81
4.5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	86

**CAPÍTULO 5**

<b>CONDIÇÕES DE SUPERFÍCIE DOS PAVIMENTOS AEROPORTUÁRIOS</b> .....	<b>88</b>
5.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	88
5.2. TEXTURA SUPERFICIAL.....	89
5.2.1. Microtextura.....	89
5.2.2. Macrotextura.....	94
5.3. COEFICIENTE DE ATRITO.....	106
5.4. AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE SUPERFÍCIE.....	115
5.5. CONSIDERAÇÕES SOBRE A REMOÇÃO DE BORRACHA.....	123
5.6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	130

**CAPÍTULO 6**

<b>PROPOSIÇÃO DAS ESTRATÉGIAS DE MANUTENÇÃO</b> .....	<b>132</b>
6.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	132
6.2. RESUMO DAS INTERVENÇÕES E DOS LEVANTAMENTOS.....	133
6.3. DEFINIÇÃO DAS ESTRATÉGIAS DE MANUTENÇÃO.....	136
6.4. PROPOSIÇÃO DAS ESTRATÉGIAS DE MANUTENÇÃO.....	142
6.5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	164

**CAPÍTULO 7**

<b>CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES</b> .....	<b>165</b>
7.1. CONCLUSÕES .....	165
7.2. RECOMENDAÇÕES PARA PESQUISAS FUTURAS.....	167
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>169</b>

**ANEXO 1**

<b>FORMULÁRIO DE AVALIAÇÃO PCI</b> .....	<b>179</b>
--	------------

**ANEXO 2**

<b>TABELA DE ACN</b> .....	<b>181</b>
----------------------------	------------

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Principais classes de atividades de um SGP.....	12
Figura 2.2 – Atividades de um SGP em nível de rede e de projeto.....	13
Figura 2.3 – Fluxograma simplificado das atividades de planejamento de um SGP.....	14
Figura 2.4 – Atividades de um SGP em nível de rede e de projeto, com ênfase para o banco de dados.....	19
Figura 2.5 – Atividades de um SGP, com ênfase para o banco de dados.....	20
Figura 2.6 – Atividades de um SGPA.....	22
Figura 2.7 – SGP proposto para os aeroportos brasileiros.....	24
Figura 2.8 – SGPA destinado à INFRAERO.....	25
Figura 2.9 – Fluxo de um SGPA.....	26
Figura 2.10 – Fases de implantação de um SGPA.....	28
Figura 2.11 – Gráfico da condição do pavimento x tempo.....	29
Figura 2.12 – CPA aplicada no Aeroporto Santos Dumont, Rio de Janeiro.....	34
Figura 2.13 – <i>Grooving</i> em pavimento aeroportuário.....	35
Figura 3.1 – Localização geográfica do Pici, Cocorote e Alto da Balança.....	38
Figura 3.2 – Configuração inicial da Base do Cocorote.....	39
Figura 3.3 – Interligação entre as Bases do Cocorote e do Alto da Balança.....	40
Figura 3.4 – Complexo de pistas do Aeroporto de Fortaleza, em 1963.....	41
Figura 3.5 – Primeiro terminal de passageiros do Aeroporto de Fortaleza, em 1966.....	41
Figura 3.6 – Complexo de pistas do Aeroporto de Fortaleza, em 1966.....	42
Figura 3.7 – Vista aérea do Aeroporto de Fortaleza no final da década de 70.....	43
Figura 3.8 – Aeroporto Internacional de Fortaleza, em 1998.....	44
Figura 3.9 – Vista aérea do Aeroporto Internacional de Fortaleza, em 1998.....	45
Figura 3.10 – Mapa de distribuição dos aeroportos da rede INFRAERO.....	47
Figura 3.11 – Mapa de distribuição dos aeroportos no Estado do Ceará.....	49
Figura 3.12 – Movimento de passageiros entre 1998 a 2007 no Aeroporto Internacional de Fortaleza.....	51
Figura 3.13 – Movimento de aeronaves entre 1998 a 2007 no Aeroporto Internacional de Fortaleza.....	51
Figura 3.14 – Vista aérea do Terminal de Passageiros.....	53
Figura 3.15 – <i>Check-in</i> e da sala de embarque.....	53
Figura 3.16 – Escadas rolantes do saguão central.....	53

Figura 3.17 – Vista aérea do terminal de passageiros e pátio .....	54
Figura 3.18 – Vista aérea do Terminal de Aviação Geral .....	54
Figura 3.19 – Vista aérea do sistema de pátios e pistas .....	56
Figura 3.20 – Vista aérea da faixa de pista não-conforme .....	58
Figura 4.1 – Esquema estrutural de um pavimento rígido .....	62
Figura 4.2 – Placas de concreto armado do Pátio 3 .....	63
Figura 4.3 – Pavimento rígido em áreas do Aeroporto Internacional de Fortaleza .....	63
Figura 4.4 – Esquema estrutural de um pavimento flexível .....	64
Figura 4.5 – Pavimento flexível em áreas do Aeroporto Internacional de Fortaleza .....	64
Figura 4.6 – Modelo de ábaco utilizado pela FAA para dimensionamento de pavimentos rígidos e aeronave de roda dupla .....	69
Figura 4.7 – Modelo de ábaco utilizado pela FAA para dimensionamento de pavimentos flexíveis e aeronave de roda dupla .....	70
Figura 4.8 – Fluxo de análise de sobrecargas .....	79
Figura 4.9 – Seção transversal da pista de pousos e de decolagens do Aeroporto Internacional de Fortaleza .....	82
Figura 4.10 – Viga Benkelman .....	83
Figura 4.11 – Esquema de medida da Viga Benkelman .....	83
Figura 4.12 – <i>Falling Weight Deflectometer</i> – FWD .....	85
Figura 4.13 – Esquema de medida do FWD .....	86
Figura 5.1 – Tipos de microtextura – lisa e áspera .....	90
Figura 5.2 – Pêndulo Britânico .....	91
Figura 5.3 – Detalhe da macrotextura e da microtextura .....	95
Figura 5.4 – Detalhe do preenchimento da areia na textura da superfície, durante ensaio do método da mancha de areia .....	96
Figura 5.5 – Espalhamento da areia na textura da superfície .....	97
Figura 5.6 – Medição do círculo de areia na textura da superfície .....	97
Figura 5.7 – Superfície com macrotextura fechada e aberta .....	99
Figura 5.8 – Superfície com macrotextura aberta e diferentes microtexturas .....	99
Figura 5.9 – Superfície com macrotextura fechada e diferentes microtexturas .....	99
Figura 5.10 – Gráfico da profundidade média da mancha de areia na pista de pousos e de decolagens, em 1990 .....	101
Figura 5.11 – Gráfico da profundidade média da mancha de areia na pista de pousos e de decolagens, em 2005 .....	102
Figura 5.12 – Gráfico da profundidade média da mancha de areia na pista de pousos e de decolagens, em 2007 .....	104
Figura 5.13 – Acidentes aéreos envolvendo derrapagem de aeronaves .....	106

Figura 5.14 – Exemplos de <i>grooving</i> em pavimentos aeroportuários .....	107
Figura 5.15 – Equipamento <i>Mu-Muter</i> .....	110
Figura 5.16 – Equipamento <i>Skidometer</i> .....	111
Figura 5.17 – Gráfico dos valores de coeficiente de atrito na pista de pousos e de decolagens, em 2007 .....	115
Figura 5.18 – Divisão das unidades de amostra selecionadas para inspeção na pista de pousos e de decolagens .....	120
Figura 5.19 – Trincas longitudinais e transversais .....	121
Figura 5.20 – Contaminação por presença de material orgânico .....	122
Figura 5.21 – Trincas de reflexão nas cabeceiras da pista .....	122
Figura 5.22 – Desgastes .....	122
Figura 5.23 – Desagregações .....	123
Figura 5.24 – Buracos .....	123
Figura 5.25 – Impregnação de borracha .....	123
Figura 5.26 – Borracha impregnada na superfície da pista de pousos e decolagens .....	125
Figura 5.27 – Serviços de remoção de borracha com jato de água de alta pressão .....	127
Figura 5.28 – Áreas da pista de pousos e de decolagens, com e sem a execução dos serviços de remoção da borracha acumulada .....	127
Figura 5.29 – Resíduos de borracha retirada da pista de pousos e de decolagens .....	128
Figura 5.30 – Deterioração da superfície da pista de pousos e decolagens ocasionada pelos serviços de remoção de borracha .....	129
Figura 5.31 – Danos provocados na pista de pousos e decolagens pelos equipamentos de remoção de borracha .....	129
Figura 5.32 – Operações de pousos e de decolagens durante os serviços de remoção de borracha .....	130
Figura 6.1 – Gráfico-resumo das ocorrências no Aeroporto Internacional de Fortaleza .....	135
Figura 6.2 – Fluxograma da evolução de um pavimento .....	138
Figura 6.3 – Gráfico da serventia-desempenho .....	139
Figura 6.4 – Esquema gráfico de classificação da Macrotextura .....	143
Figura 6.5 – Esquema gráfico de classificação do Coeficiente de Atrito para <i>Mu-Meter</i> .....	145
Figura 6.6 – Esquema gráfico de classificação do Coeficiente de Atrito para <i>Skidometer</i> ou <i>Trailer</i> .....	145

## LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1– Distribuição dos pavimentos no Aeroporto Internacional de Fortaleza	65
Tabela 4.2 – Características gerais dos pavimentos aeroportuários	66
Tabela 4.3 – Fatores de conversão dos trens de pouso	68
Tabela 4.4 – Notificação do PCN – Tipo pavimento	76
Tabela 4.5 – Notificação do PCN – Resistência do subleito para pavimentos rígidos	76
Tabela 4.6 – Notificação do PCN – Resistência do subleito para pavimentos flexíveis	76
Tabela 4.7 – Notificação do PCN – Pressão máxima admissível dos pneus	76
Tabela 4.8 – Notificação do PCN – Método de avaliação	76
Tabela 4.9 – PCN dos pátios e das pistas do Aeroporto Internacional de Fortaleza	77
Tabela 4.10 – Número de operações do Boeing 747-400 no Aeroporto Internacional de Fortaleza, entre 2004 e 2007	78
Tabela 4.11 – Medidas das deflexões da pista de pousos e de decolagens do Aeroporto Internacional de Fortaleza	84
Tabela 5.1 – Classes de Textura do Pavimento	89
Tabela 5.2 – Classes de Microtextura	92
Tabela 5.3 – Microtextura da pista de pousos e de decolagens, em 1990	92
Tabela 5.4 – Microtextura da pista de pousos e de decolagens, em 2007	93
Tabela 5.5 – Microtextura dos terços da pista de pousos e de decolagens, em 1990	94
Tabela 5.6 – Microtextura dos terços da pista de pousos e de decolagens, em 1990	94
Tabela 5.7 – Classificação da Macrotextura	98
Tabela 5.8 – Macrotextura da pista de pousos e de decolagens, em 1990	100
Tabela 5.9 – Macrotextura dos terço da pista de pousos e de decolagens, em 1990	101
Tabela 5.10 – Macrotextura da pista de pousos e de decolagens, em 2005	102
Tabela 5.11 – Macrotextura dos terços da pista de pousos e de decolagens, em 2005	103
Tabela 5.12 – Macrotextura na pista de pousos e de decolagens, em 2007	104
Tabela 5.13 – Macrotextura dos terços da pista de pousos e de decolagens, em 2007	105
Tabela 5.14 – Resumo dos valores de macrotextura para cada terço da pista de pousos e de decolagens, desde 1990	105
Tabela 5.15 – Valores de coeficientes de atrito	109
Tabela 5.16 - Frequência das Medições de Atrito	112
Tabela 5.17 – Frequência das Medições de Atrito no Brasil	112



Tabela 5.18 – Coeficiente de atrito dos terços da pista de pousos e decolagens, em 1990.....	113
Tabela 5.19 – Resumo dos valores de coeficiente de atrito dos terços da pista de pousos e de decolagens.....	114
Tabela 5.20 – Classificação do PCI.....	118
Tabela 5.21 – Condição dos pavimentos da rede INFRAERO, em 2002.....	119
Tabela 5.22 – PCI dos pavimentos do Aeroporto Internacional de Fortaleza, em 2003.....	119
Tabela 6.1 – Quadro resumo das intervenções no Aeroporto Internacional de Fortaleza.....	133
Tabela 6.2 – Resumo das estratégias de manutenção.....	141
Tabela 6.3 – Valores de coeficientes de atrito.....	144
Tabela 6.4 – Macrotextura a partir das condições funcionais.....	150
Tabela 6.5 – Coeficiente de atrito a partir das condições funcionais.....	150
Tabela 6.6 – Frequência de realização das inspeções visuais.....	153
Tabela 6.7 – Resumo das estratégias de manutenção propostas para macrotextura muito fechada e as condições de coeficiente de atrito.....	154
Tabela 6.8 – Resumo das estratégias de manutenção propostas para macrotextura fechada e as condições de coeficiente de atrito.....	156
Tabela 6.9 – Resumo das estratégias de manutenção propostas para macrotextura média e as condições de coeficiente de atrito.....	158
Tabela 6.10 – Resumo das estratégias de manutenção propostas para macrotextura aberta e as condições de coeficiente de atrito.....	161
Tabela 6.11 – Resumo das estratégias de manutenção propostas para macrotextura muito aberta e as condições de coeficiente de atrito.....	161
Tabela 6.12 – Resumo geral das estratégias de manutenção propostas para todas as classes de macrotextura e as condições de coeficiente de atrito.....	162

## LISTA DE NOMENCLATURAS E ABREVIATÓES

AASHO	<i>American Association of States Highway Officials</i> (Associação Americana de Rodovias Estaduais Oficiais)
AASHTO	<i>American Association of States Highway and Transportation Officials</i> (Associação Americana de Rodovias Estaduais e Transportes Oficiais)
ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABPv	Associação Brasileira de Pavimentação
AIP	<i>Aeronautical Information Publication</i> (Publicação de Informação Aeronáutica)
ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
ACN	<i>Aircraft Classification Number</i> (Número de Classificação de Aeronave)
APMS	<i>Airport Pavement Management System</i> (Sistema de Gerência de Pavimentos Aeroportuários)
ARTESP	Agência Reguladora de Transporte do Estado de São Paulo
ASTM	<i>American Society of Testing Materials</i> (Sociedade Americana para Testes e Materiais)
CBR	<i>California Bearing Ratio</i> (Índice de Suporte Califórnia)
CBUQ	Concreto Betuminoso Usinado à Quente
CENIPA	Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos
COPPE	Instituto de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro
CPA	Camada Porosa de Atrito
DAC	Departamento de Aviação Civil
DECEA	Departamento de Controle do Espaço Aéreo
DER	Departamento de Edificações e Rodovias
DETRAN	Departamento Estadual de Trânsito
DIRENG	Diretoria de Engenharia da Aeronáutica
DGAC	<i>Direction Générale de l'Aviation Civile</i> (Direção Geral de Aviação Civil – França)

DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
DNIT	Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes
EESC	Escola de Engenharia de São Carlos
FAA	<i>Federal Aviation Administration</i> (Administração Federal de Aviação – Estados Unidos)
FAB	Força Aérea Brasileira
FOD	<i>Foreign Object Damage</i> (Dano por Objeto Estranho)
IAC	Instrução de Aviação Civil
ICAO	<i>International Civil Aviation Organization</i> (Organização da Aviação Civil Internacional)
IMA	Instrução do Ministério da Aeronáutica
INFRAERO	Empresa Brasileira de Infra-Estrutura Aeroportuária
ITA	Instituto Tecnológico da Aeronáutica
LEDFAA	<i>Layered Elastic Design – Federal Aviation Administration</i> (Projeto de Camadas Elásticas – Administração Federal de Aviação)
NOTAM	<i>Notice to Air Men</i> (Aviso aos Aeronavegantes)
NSMA	Norma de Serviço do Ministério da Aeronáutica
OV	Peso Operacional Vazio
PCI	<i>Pavement Condition Index</i> (Índice de Condição de Pavimento)
PCN	<i>Pavement Condition Number</i> (Número de Classificação de Pavimento)
PMD	Peso Máximo de Decolagem
PMS	<i>Pavement Management System</i> (Sistema de Gerência de Pavimentos)
POLI	Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
PRODETUR	Programa de Ação para o Desenvolvimento do Turismo no Nordeste
RWY	<i>Runway</i> (Pista de Pousos e de Decolagens)
SETUR	Secretaria de Turismo do Estado do Ceará

SGC	<i>Système de Gestion des Chaussées</i> (Sistema de Gerência de Pavimentos)
SGP	Sistema de Gerência de Pavimentos
SGPA	Sistema de Gerência de Pavimentos Aeroportuários
SMA	<i>Stone Matrix Asphalt</i> (Matriz Pétreo Asfáltica)
TAG	Terminal de Aviação Geral
TECA	Terminal de Logística de Cargas
TPS	Terminal de Passageiros
TSD	Tratamento Superficial Duplo
TSS	Tratamento Superficial Simples
TST	Tratamento Superficial Triplo
TWY	<i>Taxiway</i> (Pista de taxiamento)
USACE	<i>United States Army Corps of Engineers</i> (Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos)
USAF	<i>United States of Air Force</i> (Força Aérea dos Estados Unidos)
UFC	Universidade Federal do Ceará
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
USCS	<i>Unified Soil Classification System</i> (Sistema Unificados de Classificação de Solos)
USP	Universidade de São Paulo
VDOA	<i>Virginia Department of Aviation</i> (Departamento de Aviação da Virgínia – Estados Unidos)
VDC	Valor Deduzido Corrigido
VDT	Valor Deduzido Total
VRD	Valor de Resistência à Derrapagem

# CAPÍTULO 1

## INTRODUÇÃO

Neste capítulo apresenta-se a justificativa e o problema que motivaram esta pesquisa, assim como a descrição dos seus objetivos – geral e específicos, a metodologia empregada e a organização da estrutura do trabalho.

### 1.1. JUSTIFICATIVA

Os pavimentos estão entre as mais importantes estruturas de um complexo aeroportuário, considerando suas construções, instalações, equipamentos e facilidades de um modo geral.

As pistas de pouso e de decolagem – *runways*, de taxiamento – *taxiways* e os pátios de manobra e de estacionamento das aeronaves – *aprons* são imprescindíveis para a operacionalidade e o funcionamento de um aeroporto. A ausência dessas infraestruturas, ou a sua existência precária e ineficiente tornam inviáveis as operações das aeronaves e seus equipamentos de apoio. Por consequência, não haverá passageiros e toda a gestão de um aeroporto perde seu sentido.

A manutenção dos pavimentos deve ser tarefa prioritária de uma empresa ou administrador aeroportuário que precisa se conscientizar que o gerenciamento efetivo dos pavimentos deve ser a sua maior responsabilidade. Isso porque essas relevantes infraestruturas representam uma grande parcela dos recursos materiais, e principalmente financeiros, alocados ao longo de sua vida útil, sendo de fundamental importância para o funcionamento de um terminal aeroportuário.

As práticas de conservação e de restauração dos pavimentos aeroportuários são questões essenciais e contribuem positivamente para a segurança de vôo, já que envolvem as aeronaves, seus ocupantes – passageiros e tripulantes, e as cargas transportadas.

Recomendações da Organização da Aviação Civil Internacional (*International Civil Aviation Organization* – ICAO) indicam que a superfície dos pavimentos aeroportuários deve manter-se livre de quaisquer partículas soltas que possam causar danos à estrutura ou aos motores das aeronaves e prejudicar seu funcionamento e sistemas. Esses materiais desprendidos podem ser provenientes do desgaste do próprio pavimento (ICAO, 2004).

A degradação dos pavimentos causada pelas condições climáticas e ambientais, pela ação do tempo e do tráfego ou por atividades inadequadas de manutenção é um dos fatores contribuintes para as ocorrências de acidentes envolvendo aeronaves. Estes, por sua vez, proporcionam perdas materiais e humanas irreparáveis e consideravelmente traumáticas.

O Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos – CENIPA, instituição militar subordinada ao Estado-Maior da Aeronáutica brasileiro, não possui dados acerca dos acidentes aéreos ocasionados especificamente pelas más condições físicas dos pavimentos aeroportuários.

Contudo, o próprio CENIPA avalia as deficiências de infraestrutura aeronáutica, incluindo as condições físicas e operacionais dos aeródromos, como um dos fatores contribuintes para a ocorrência dos acidentes aéreos (NSMA 3-1, 1999).

Assim, a decisão de conservar uma rede de pavimentos ou mesmo um único sistema de pistas é uma atividade extremamente importante e difícil para uma empresa administradora de aeroportos, haja vista que os recursos financeiros envolvidos nessa operação são altos e, na maioria das vezes, insuficientes.

O Departamento de Transportes do Canadá (TRANSPORT CANADA, 2007) esclarece que nos aeroportos canadenses os pavimentos representam uma porção substancial do investimento total feito na infraestrutura aeroportuária. Dependendo do tamanho do aeroporto, cerca de 40% a 50% dos custos são devidos exclusivamente aos pavimentos.

De acordo com USACE (1982) e SHAHIN (2005), a maioria dos pavimentos apresenta a necessidade de serviços de conservação ou de restauração, devido à insuficiência de fundos orçamentários disponibilizados.

Segundo a Administração Federal de Aviação dos Estados Unidos (*Federal Aviation Administration – FAA*), grande parte dos administradores de aeroportos toma decisões acerca dos serviços de conservação e de restauração dos pavimentos baseadas na necessidade imediata ou na experiência. Essa abordagem não permite ao administrador avaliar o custo efetivo das alternativas de manutenção e estratégias de reparo, o que conduz a um ineficiente uso dos fundos disponibilizados (FAA, 2006a).

No Brasil, a Diretoria de Engenharia da Aeronáutica – DIRENG, afirma que as avaliações das condições estruturais e funcionais dos pavimentos das pistas de um aeroporto devem fornecer informações que permitam a escolha das melhores técnicas necessárias para a aplicação dos recursos, de forma otimizada, nas obras de infraestrutura aeroportuária (DIRENG, 1991). Para isso, verifica-se a necessidade de aplicação de um Sistema de Gerência de Pavimentos Aeroportuários – SGPA (*Airport Pavement Management System – APMS*) como uma ferramenta de controle e auxílio para os que tomam a decisão de como alocar os recursos disponíveis, oferecendo segurança e operacionalidade às pistas e aos pátios dos aeroportos.

Para HAAS, HUDSON e ZANIEWSKI (1994) um Sistema de Gerência de Pavimentos – SGP (*Pavement Management System – PMS*) consiste em um conjunto amplo e coordenado de atividades associadas com planejamento, projeto, construção, manutenção, avaliação e pesquisa de pavimentos.

Tal ferramenta torna-se imprescindível para a gestão da infraestrutura aeroportuária, especialmente quando se trabalha com recursos financeiros públicos, uma vez que a sociedade exige um retorno do que foi indiretamente investido através de impostos e taxas pagos. Da mesma forma, as empresas aéreas que fazem uso das pistas e pátios aeroportuários através de suas aeronaves procuram encontrar pavimentos resistentes e bem mantidos para que possam efetuar suas operações de forma segura.

As rotinas de conservação e de restauração de pavimentos nos mais diversos aeroportos do Brasil e do mundo indicam que um SGPA deve ser, preferencialmente, implementado com base em parâmetros funcionais comumente utilizados nas inspeções e levantamentos das condições de superfície desses pavimentos, tais como: a textura superficial, sobretudo a macrotextura, e o coeficiente de atrito.

Outro fato a considerar é que essas variáveis são reconhecidas pela ICAO como relevantes no contexto da segurança de vôo, especialmente quando se trata das operações de pousos e de decolagens das aeronaves.

Além disso, segundo WELLS e YOUNG (2004), a inspeção, a conservação e o reparo das pistas de pouso e de decolagem, de taxiamento e dos pátios de estacionamento de aeronaves são práticas da maior importância em um aeroporto, fazendo parte de um bem elaborado e efetivo SGPA.

## **1.2. PROBLEMA DE PESQUISA**

Percebe-se no Aeroporto Internacional de Fortaleza, estado do Ceará, a degradação dos pavimentos, principalmente da pista de pousos e de decolagens, causada pela ausência de práticas regulares de conservação e de restauração ao longo do tempo.

O problema acentua-se pela ausência de desenvolvimento, de implantação e de aplicação de um Sistema de Gerência de Pavimentos Aeroportuários com o objetivo de estabelecer estratégias de conservação e de restauração que visem garantir as condições mínimas operacionais e de segurança dos pavimentos no aeroporto.

## **1.3. OBJETIVO GERAL**

O objetivo geral desta pesquisa é propor estratégias de manutenção – conservação e restauração, para os pavimentos do Aeroporto Internacional de Fortaleza, baseadas nos parâmetros funcionais de textura superficial, especificamente a macrotextura, e de coeficiente de atrito, inseridas em um Sistema de Gerência de Pavimentos Aeroportuários.

### **1.3.1. Objetivos Específicos**

Como objetivos específicos podem ser listados:

- a) levantamento do estado da arte da Gerência de Pavimentos;
- b) descrição das características de textura superficial, com ênfase para a macrotextura e coeficiente de atrito;



- c) análise dos valores obtidos nos ensaios de textura superficial – microtextura e macrotextura, e de coeficiente de atrito realizados pela Diretoria de Engenharia da Aeronáutica – DIRENG e pela Empresa Brasileira de Infra-Estrutura Aeroportuária – INFRAERO, e;
- d) estudo da evolução das características funcionais e estruturais dos pavimentos no Aeroporto Internacional de Fortaleza, com destaque para a pista de pousos e de decolagens, desde sua construção.

#### **1.4. METODOLOGIA**

Inicialmente foi feita uma revisão bibliográfica de obras que abordam os Sistemas de Gerência de Pavimentos, com foco aeroportuário, publicadas por autores de consagradas universidades e organizações nacionais e internacionais, observando suas práticas e verificando as metodologias aplicadas.

Foi realizado um estudo sobre as definições e características de textura superficial – microtextura e macrotextura, bem como do coeficiente de atrito, com os respectivos parâmetros normativos e ensaios estabelecidos.

Através de pesquisa dos arquivos e dos estudos da Diretoria de Engenharia da Aeronáutica – DIRENG e da Empresa Brasileira de Infra-Estrutura Aeroportuária – INFRAERO foram analisados as características estruturais e os valores funcionais de textura superficial e de coeficiente de atrito obtidos de ensaios realizados no Aeroporto Internacional de Fortaleza.

Ensaio para obtenção dos índices de macrotextura e do coeficiente de atrito foram realizados na pista de pousos e de decolagens do Aeroporto Internacional de Fortaleza, bem como análise das condições de superfície através de levantamento visual.

Estratégias de conservação e de restauração destinadas a pavimentos foram estudadas e descritas como forma de subsidiar esta pesquisa e propor as ações mais efetivas para melhoria das características funcionais.

## 1.5. DETALHAMENTO DO TRABALHO

O trabalho foi dividido em sete capítulos, dentre estes o capítulo 1 – Introdução que discorre sobre a importância da manutenção e do gerenciamento dos pavimentos aeroportuários de uma forma generalizada, apresentando a justificativa e o problema de pesquisa, além dos objetivos – geral e específicos, a metodologia empregada e o detalhamento do trabalho.

O capítulo 2 traz uma revisão bibliográfica sobre a fundamentação e a aplicação dos Sistemas de Gerência de Pavimentos e das técnicas de manutenção.

A escolha da área do estudo de caso, o Aeroporto Internacional de Fortaleza, foi justificada no capítulo 3, como forma de demonstrar a importância do seu funcionamento no contexto do desenvolvimento nacional e regional.

Informações relevantes acerca das condições estruturais dos pavimentos do Aeroporto Internacional de Fortaleza serão apresentadas no capítulo 4.

No capítulo 5, considerações sobre as condições de superfície serão apresentadas como forma de basear e fundamentar esta pesquisa. Da mesma forma, os valores dos índices de macrotextura e coeficiente de atrito, bem como as características de superfície dos pavimentos do Aeroporto Internacional de Fortaleza serão analisados.

A proposição das estratégias de manutenção baseadas nos parâmetros de macrotextura e de coeficiente de atrito para o Aeroporto Internacional de Fortaleza será exposta no capítulo 6.

Por fim, no capítulo 7, seguem algumas conclusões obtidas ao longo do desenvolvimento da pesquisa, assim como recomendações que servirão para auxiliar o processo e o planejamento das atividades relacionadas à manutenção dos pavimentos aeroportuários.

## CAPÍTULO 2

### REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O presente capítulo objetiva expor uma revisão das obras que abordam os Sistemas de Gerência de Pavimentos e as técnicas de manutenção, com foco aeroportuário, apresentando seus elementos, atividades e finalidades.

#### 2.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Se comparada à bibliografia encontrada no exterior, poucas são as pesquisas nacionais sobre os Sistemas de Gerência de Pavimentos Aeroportuários – SGPA.

A maior parte das obras pesquisadas e apresentadas nesta revisão bibliográfica é de origem estrangeira, principalmente de estudos realizados pela Organização da Aviação Civil Internacional (*International Civil Aviation Organization – ICAO*), pela Administração Federal de Aviação dos Estados Unidos (*Federal Aviation Administration – FAA*), e pelo Departamento de Transportes do Canadá (*Transport Canada*).

Com relação ao Brasil, encontram-se registros de trabalhos produzidos por pesquisadores da Escola Politécnica na Universidade de São Paulo – POLI/USP do Instituto Tecnológico da Aeronáutica – ITA, da Diretoria de Engenharia da Aeronáutica – DIRENG e da Empresa Brasileira de Infra-Estrutura Aeroportuária – INFRAERO.

No que diz respeito aos Sistemas de Gerência de Pavimentos – SGP destinados às rodovias, encontram-se estudos do Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes – DNIT, bem como de alguns centros acadêmicos, tais como: a Escola de Engenharia de São Carlos – EESC e a Escola Politécnica – POLI, ambas da Universidade de São Paulo – USP, o Instituto de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro – COPPE/UFRJ, a Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, dentre outras.

Embora a grande maioria dos SGP tenha sido desenvolvida e empregada pelos órgãos rodoviários, não se pode deixar de mencionar que os conceitos, as práticas e os processos desses sistemas também foram aplicados, sem variações significativas, no ambiente aeroportuário.

## **2.2. AS ATIVIDADES DE UM SISTEMA DE GERÊNCIA DE PAVIMENTOS**

Para FINN (1998), as atividades inerentes aos SGP começaram a ser difundidas inicialmente por ocasião dos experimentos realizados na pista teste da então *American Association of State Highway Officials – AASHO Road Test*, entre 1956 e 1960.

As aplicações utilizadas na *AASHO Road Test* nortearam as pesquisas de CAREY e IRICK (1960) que desenvolveram o conceito de serventia-desempenho de pavimentos. A serventia é definida como a capacidade de uma determinada seção do pavimento, à época da observação, de servir ao tráfego, com elevados volumes e altas velocidades. Enquanto que o desempenho é a variação dessa serventia com o tempo e/ou tráfego (FERNANDES JÚNIOR, ODA e ZERBINI, 1999).

A atual *American Association of State Highway and Transportation Officials AASHTO* (1993) insere a questão do conforto na sua definição de serventia, e assim a apresenta como sendo o nível de conforto ao rolamento que um pavimento confere ao tráfego solicitante da via, seja este composto por veículos de passeio e/ou por veículos comerciais. Assim, com o início desses estudos, do desenvolvimento e do aperfeiçoamento daqueles conceitos, dentre outros que surgiram ao longo do tempo, concebiam-se os SGP (*Pavement Management System – PMS*).

De acordo com CARDOSO (1988a), desde o surgimento das primeiras pesquisas e aplicações dos SGP, muitas agências aplicaram suas ferramentas conforme suas necessidades e rotinas.

Com o passar do tempo, segundo ESPESCHIT (1990), a gerência de pavimentos adquiriu uma série de conceitos e significados que dependiam do tratamento e do nível de profundidade com que cada organização abordava o assunto.

Para LAMM (1985) *apud* PETERSON (1987), a gerência de pavimentos está preocupada em fazer a coisa certa, no lugar certo, utilizando os tipos corretos de materiais, com a espessura certa, com todos os detalhes previstos no projeto e com o menor custo total.

Com uma definição mais técnica, HAAS, HUDSON e ZANIEWSKI (1994), apresentam os SGP como um conjunto de ferramentas ou métodos para auxiliar os tomadores de decisão a encontrar estratégias ótimas para prover e manter os pavimentos em uma condição operacional ao longo de um determinado período de tempo.

O Departamento de Transportes de Québec (TRANSPORTS QUÉBEC, 2003), no Canadá, compartilha da mesma opinião quando afirma que um SGP (*Système de Gestion des Chaussées* – SGC) deve ajudar a responder todas as questões envolvidas em um processo de tomada de decisão eficaz: onde, quando e quanto deve ser investido.

Ainda para o TRANSPORTS QUÉBEC (2003), o SGP permite obter um cenário do estado da rede, uma estimativa de necessidades atuais e futuras em matéria de conservação e de reabilitação, uma avaliação técnica e econômica das estratégias de manutenção possíveis, assim como as consequências das estratégias escolhidas.

Na opinião de SHAHIN (2005), uma das principais finalidades dos SGP é fornecer um sistemático e consistente método para selecionar as necessidades de conservação e de restauração, determinar as prioridades e o tempo ideal para reparo através da predição da condição futura do pavimento, além de ser uma ferramenta valiosa que alerta qual o seu ponto crítico do ciclo de vida.

Um SGP, segundo PAPALEO (1998), deve fornecer um meio para ajudar a gerir as despesas da manutenção dos pavimentos da forma mais eficiente e econômica, além de permitir opções múltiplas de orçamentos e soluções de manutenção para os pavimentos aeroportuários.

Ao longo desta pesquisa bibliográfica, verificou-se que questões envolvendo tempo, ciclo de vida, tomada de decisão, recursos financeiros e materiais, projeto, construção, manutenção, condição operacional e futura dos pavimentos também estão presentes, com muitas semelhanças, em obras como YODER e WITCZAK (1975), HAAS e HUDSON (1978), AASHTO (1985), PATERSON e ROBINSON (1992),

HUANG (1993), MARCON (1996), ICAO (1997), RODRIGUES (1999b), DNER (2000), HAAS (2001), dentre outros. Essas obras abordam, de forma análoga, além dos conceitos e das definições, a aplicação das atividades da gerência de pavimentos em dois níveis distintos, porém dependentes: rede e projeto.

De acordo com SHAHIN (2005), uma rede é um agrupamento lógico de pavimentos destinados as práticas de conservação e de restauração. Além disso, é preciso considerar a localização geográfica, os padrões mínimos operacionais e as fontes de financiamento.

Para efeito desta pesquisa, em um aeroporto três redes distintas foram consideradas: a que compreende os pavimentos utilizados pelas aeronaves, como as pistas de pousos e de decolagens, as pistas de taxiamento e os pátios de manobra e de estacionamento; a que abrange as vias de serviços dos veículos e equipamentos de apoio às aeronaves; e, a que se destina aos veículos dos passageiros e usuários externos do aeroporto, como, por exemplo, o estacionamento e as vias de acesso ao terminal de passageiros e de cargas.

A gerência de pavimentos em nível de rede, de acordo com HAAS, HUDSON e ZANIEWSKI (1994), envolve um programa geral de desenvolvimento de construções, manutenções ou reabilitações que terão o menor custo total, ou o maior benefício, durante o período de análise selecionado para todos os pavimentos constituintes de um determinado SGP.

Para RODRIGUES (1999b), a análise em nível de rede deve avaliar as consequências das inúmeras estratégias de alocação dos recursos, dadas as restrições orçamentárias e operacionais conhecidas. A partir disso, é preciso priorizar os serviços de construção e manutenção, de modo a se obter o máximo retorno do que foi investido.

O antigo Departamento Nacional de Estradas de Rodagem – DNER, hoje Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes – DNIT, afirma que a gerência em nível de rede vem sendo subdividida em dois níveis: o de seleção de projetos, que se refere aos procedimentos de priorização que envolve um ou mais grupos de projetos; e, o de programação, que envolve toda a rede, considerada a totalidade dos recursos orçamentários disponíveis (DNER, 2000).

Enquanto a gerência em nível de rede analisa todos os pavimentos constituintes de um determinado sistema viário ou aeroportuário de uma forma global, a gerência em nível de projeto, segundo HAAS, HUDSON e ZANIEWSKI (1994), deve considerar o detalhamento das alternativas de construção ou manutenção de uma seção específica do pavimento. Isso com o objetivo de fornecer os benefícios desejados ou níveis de serviço, ao menor custo total durante o período analisado.

De acordo com o DNER (2000), a gerência em nível de projeto envolve atividades detalhadas do próprio projeto e da execução de obras em um trecho específico da malha. Essas atividades deverão confirmar e especificar as recomendações da gerência em nível de rede e que, normalmente, deverão subsidiar orçamentos e programas de curto prazo.

Para ESPESCHIT (1990), existem públicos diferenciados quanto aos níveis de gerenciamento em virtude de suas características. O gerenciamento em nível de rede, por fornecer informações mais generalizadas, atende diretamente aos interesses de administradores e políticos, enquanto que em nível de projeto, por ser mais detalhado e específico, é mais útil aos técnicos e engenheiros.

Quanto ao grau de complexidade e sofisticação, PINARD (1987) *apud* ESPESCHIT (1990) observa, porém, que os SGP possuem três níveis distintos que unem os níveis apresentados anteriormente, sendo classificados em:

- a) básico: que envolve a priorização em nível de rede;
- b) intermediário: que trata da priorização em nível de rede e de projeto; e,
- c) avançado: com priorização em nível de rede e de projeto, além da otimização em nível de rede.

No contexto do detalhamento dos níveis de gerenciamento, ressalte-se que cada nível de um SGP, possui atividades intrínsecas que devem possuir a finalidade de assegurar a aplicação das decisões tomadas, assim como permitir o seu desenvolvimento de forma segura e eficiente, proporcionando benefícios aos seus usuários.

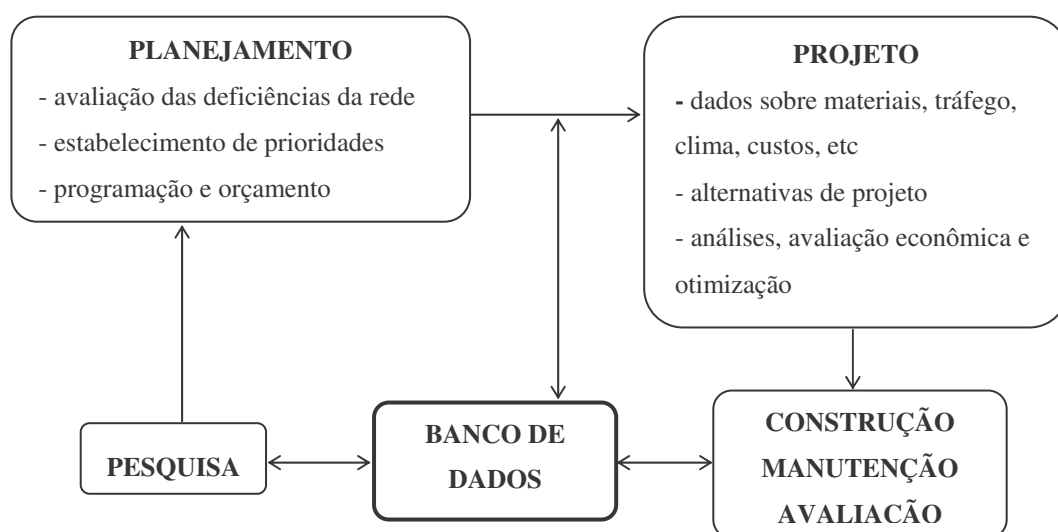
Dentre as classes de atividades ou subsistemas conhecidos e apresentados por HAAS e HUDSON (1978), que estão diretamente compreendidos entre os dois níveis

de gerenciamento, podem-se citar: planejamento, projeto, construção, manutenção, avaliação, pesquisa e banco de dados.

A AASHTO (1985), além das atividades listadas anteriormente, acrescenta: orçamento, programação, monitoramento, restauração e reconstrução.

Para a ICAO (1997), de nada adiantaria a concepção e implantação de um SGP avançado, contendo todas as atividades citadas anteriormente, se os técnicos de suas mais variadas áreas de atuação não se submeterem a uma atividade de suma importância: o treinamento. Isso porque o próprio dinamismo do SGP obriga o pessoal envolvido a seguir a evolução, assim como intercambiar as informações adquiridas.

O fluxograma apresentado na Figura 2.1, adaptado de HAAS e HUDSON (1978), procura mostrar a sequência lógica das atividades constituintes de um SGP, bem como suas relações operacionais.



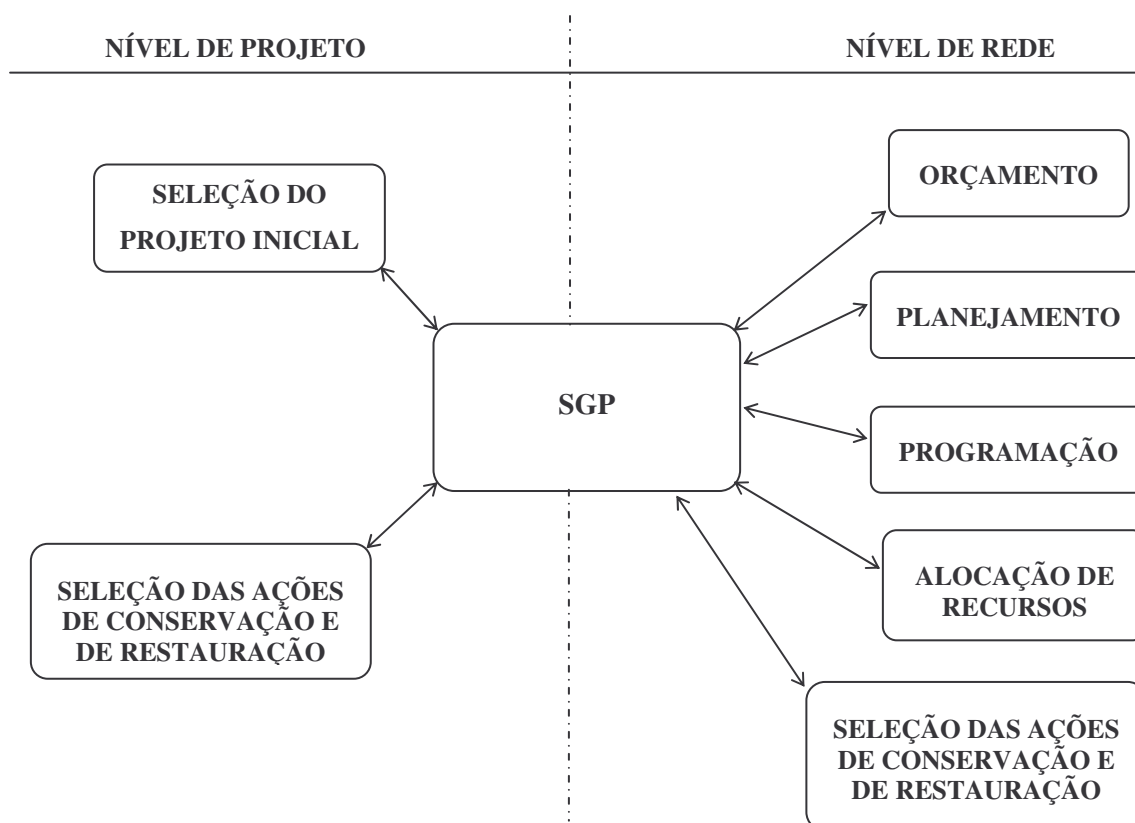
**Figura 2.1** – Principais classes de atividades de um SGP. HAAS e HUDSON (1978) - Adaptado.

Observa-se que para HAAS e HUDSON (1978) e PETERSON (1987), nenhuma dessas atividades é mais importante do que a outra, tampouco a ordem em que aparecem deve ser estritamente seguida pelos usuários de um SGP.

Afirmou-se anteriormente que todas as atividades de um SGP fazem parte ou do nível de rede ou do nível de projeto. FINN (1979) *apud* PETERSON (1987) também



apresenta um fluxograma simplificado, no qual divide as atividades e as inserem nos dois níveis de gerenciamento, de acordo com cada caso, conforme representação da Figura 2.2. Salienta, ainda, que o nível de projeto requer análise crítica de situações específicas, principalmente na seleção inicial do projeto.



**Figura 2.2** – Atividades de um SGP em nível de rede e de projeto. FINN (1979) *apud* PETERSON (1987).

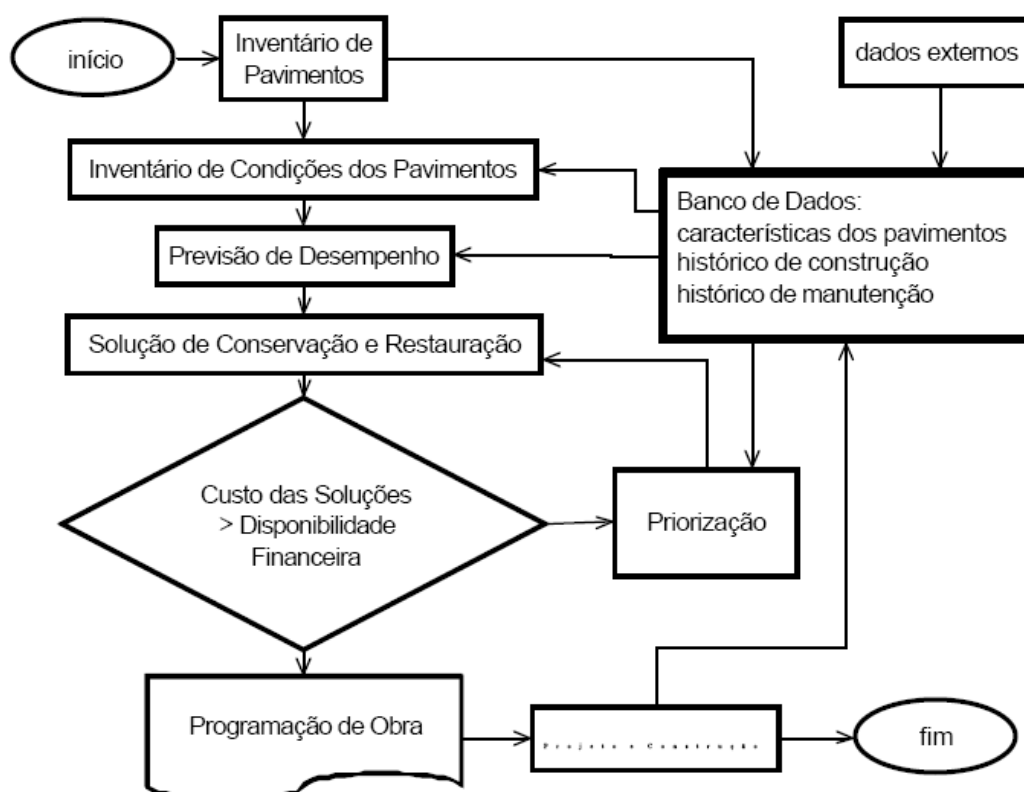
Pelo fluxograma da Figura 2.2, percebe-se que a seleção das ações de conservação e de restauração é a única atividade presente nos dois níveis de gerenciamento, considerando sua importância para o funcionamento do SGP apresentado. Um fato importante a ser observado, ainda no fluxograma da Figura 2.2, é que não há uma atividade específica com a qual todas as demais possam interagir. Em seu lugar, no centro do fluxograma, entre os dois níveis de gerenciamento surge apenas a expressão SGP.

De uma forma sucinta, serão apresentadas nos subitens a seguir, as principais características de cada uma das atividades desenvolvidas nos SGP, conforme a classificação apresentada por HAAS e HUDSON (1978).

### 2.2.1. Planejamento

Essa atividade, para HAAS e HUDSON (1978), envolve a avaliação de deficiências e de necessidades de melhoria para uma rede de pavimentos, além do estabelecimento de prioridades para eliminação ou redução das deficiências porventura existentes.

MACEDO (2005), através do fluxograma da Figura 2.3 apresenta um modelo simplificado das atividades de planejamento ressaltando a necessidade de execução dessa atividade com base em dados simples e em levantamento expedito.



**Figura 2.3** – Fluxograma simplificado das atividades de planejamento de um SGP. MACEDO (2005).

O planejamento, também denominado por RODRIGUES (1999b) como gerenciamento em nível de rede, deve estabelecer um conjunto coordenado de ações por parte do gerenciador dos pavimentos visando à consecução de determinados objetivos dentro de um orçamento disponibilizado. Acrescente-se a isso a necessidade de que nessa fase seja desenvolvido um programa para a construção de novos pavimentos ou a restauração das infraestruturas existentes.

Para o guia de projeto e manutenção de pavimentos do TRANSPORT CANADA (2007), trabalhos envolvidos com as atividades de planejamento incluem previsão de serviços de manutenção anual, restauração para os pavimentos da rede e a elaboração de um plano de obras e serviços detalhados para aplicação durante cinco anos. Além disso, essas ações devem ser baseadas em resultados obtidos das avaliações dos pavimentos.

### **2.2.2. Projeto**

Essa fase, segundo PETERSON (1987), converte cada projeto selecionado em um conjunto estratégico de programas e especificações de um item planejado. Essas especificações devem incluir o tipo de pavimento, os materiais, a seção estrutural, as espessuras das camadas, a vida útil, dentre outras características, como tráfego, clima e condições ambientais.

Cada projeto indicado precisa, segundo HAAS e HUDSON (1978), apresentar a avaliação econômica e a otimização da melhor estratégia selecionada.

De acordo com o TRANSPORT CANADA (2007), o projeto deve conter os planos e as especificações das construções realizadas. Essa atividade inicia-se com a coleta de informações de dados topográficos, solos e materiais de construção, além de informações operacionais como aeronave crítica de projeto ou a maior aeronave que deve operar no aeroporto, capacidade do sistema aeroportuário, vida de serviço desejada, *layout*, dimensionamento da área operacional, espessura das camadas do pavimento e sistemas de drenagem.

Ressalte-se a importância do levantamento das estimativas de custos e a seleção da melhor opção, bem como a minimização das interrupções nas operações do aeroporto durante as obras e os serviços que serão executados, como forma de reduzir o desconforto para os passageiros, os usuários e as aeronaves.

### **2.2.3. Construção**

A atividade de construção é responsável pela realização física daquilo que foi planejado e previsto no projeto, atendendo seus detalhes e especificações.

É nessa etapa que a obtenção das informações relativas aos materiais, ao controle de qualidade, aos equipamentos e as técnicas construtivas aplicados nas obras ou serviços são essenciais para a alimentação do banco de dados.

Segundo o TRANSPORT CANADA (2007) existem dois tipos de construção: a nova construção, que compreende a expansão ou acréscimo da área atual do pavimento do aeroporto; e, a restauração, definida como o ato de trazer algo de volta ao seu estado ou condição original com as mesmas características e qualidade.

Além disso, o objetivo da restauração é proporcionar o aumento da vida útil do pavimento. Nessa fase podem ocorrer serviços como a superposição ou reconstrução parcial de um pavimento existente. A prática da restauração é aplicada quando a qualidade exigida não pode ser alcançada por meio de uma simples conservação ou para corrigir uma carência generalizada ou contínua que ocorre em toda superfície do pavimento. A restauração pode ser dividida em quatro grupos distintos: recapeamento, reconstrução, reforço das camadas do pavimento e tratamentos superficiais.

#### **2.2.4. Manutenção**

As atividades de manutenção dizem respeito aos cuidados técnicos indispensáveis ao funcionamento regular e permanente de uma rede de pavimentos, de forma operacional e segura.

Segundo RODRIGUES (1999b), semelhante à construção, a manutenção é responsável pela implementação das obras ou serviços que foram programados durante o planejamento e que foram detalhadas e especificadas no projeto. Também inclui atividades como o acompanhamento de contratos, com registro dos custos efetivamente envolvidos para serem inseridos no banco de dados.

Para a INFRAERO (2005), as atividades de manutenção devem ser consideradas um processo contínuo e fazem parte da vida do pavimento compondo um conjunto de medidas destinadas a adaptar as pistas de rolamento às condições de tráfego existente de forma a manter ou prolongar seu período de vida.

Os objetivos da manutenção incluem a restituição das características funcionais e operacionais, a proteção física dos materiais constituintes do pavimento e o prolongamento de sua vida útil. Nessa etapa podem ser realizados os serviços de restauração, dependendo do caso.

De acordo com PETERSON (1987), as atividades de manutenção são divididas em dois tipos distintos: preventiva e corretiva.

A manutenção preventiva é aquela efetuada em intervalos predeterminados e de acordo com critérios preestabelecidos, com o objetivo de reduzir a probabilidade de falha ou de degradação do funcionamento de uma instalação (ABNT, 1994). Nesse item, incluem-se os serviços de remendos superficiais, desobstrução dos sistemas de drenagem, limpeza da pista e selagem de pequenas trincas, por exemplo.

A manutenção classificada como corretiva é realizada após a ocorrência de um problema, destinada a recolocar uma instalação em condições de executar uma função solicitada (ABNT, 1994). São exemplos de serviços realizados durante a manutenção corretiva: recapeamento de um trecho danificado da via e remendos profundos.

Na visão de PADE (2007), as atividades de manutenção ligadas aos pavimentos aeroportuários devem ser realizadas de forma regular e podem ser divididas em: funcional e operacional.

Na funcional estão incluídos os trabalhos necessários para manter a qualidade e a segurança das características da superfície dos pavimentos. Dessa manutenção fazem parte, por exemplo, a retexturização e os serviços de remoção de borracha impregnada no revestimento do pavimento da pista de pouso e de decolagem.

A manutenção operacional está relacionada com a segurança das condições de funcionamento diário dos pavimentos aeroportuários – pistas de pousos e decolagens, pistas de movimentação e/ou deslocamento das aeronaves e pátios de estacionamento. Os serviços de remoção de neve e vegetação, drenagem, limpeza, ensaios, levantamentos e inspeções na busca de animais e objetos estranhos que possam causar danos às aeronaves e seus equipamentos, conhecidos por FOD – *Foreign Object Damage*, são tarefas realizadas por ocasião das atividades desse tipo de manutenção.

### **2.2.5. Avaliação**

Na atividade de avaliação, RODRIGUES (1999b) recomenda a execução de levantamento periódico de dados acerca das condições dos pavimentos em toda a rede, como forma de manter o banco de dados permanentemente atualizado para facilitar a utilização por parte das demais atividades.

Segundo HAAS e HUDSON (1978), essa atividade tem a missão de incluir o estabelecimento de controle sobre a avaliação das seções, a real mensuração periódica de cada característica da capacidade estrutural, irregularidades, defeitos, resistência à derrapagem e, da mesma forma como nas outras atividades, a transmissão das informações para o banco de dados do SGP.

A avaliação dos pavimentos, de acordo com o TRANSPORT CANADA (2007), é responsabilidade da administração aeroportuária e deve envolver monitoramento e avaliação da qualidade das características da superfície dos pavimentos para verificação do cumprimento das normas de segurança. Além disso, é preciso avaliar as deficiências, o desempenho para identificação das necessidades e a previsão do restante da vida útil para o planejamento de novas construções ou restaurações.

### **2.2.6. Pesquisa**

PETERSON (1987) define a atividade de pesquisa como o processo de encontrar soluções para problemas existentes e na procura dos melhores materiais e métodos com os menores e melhores custos efetivos.

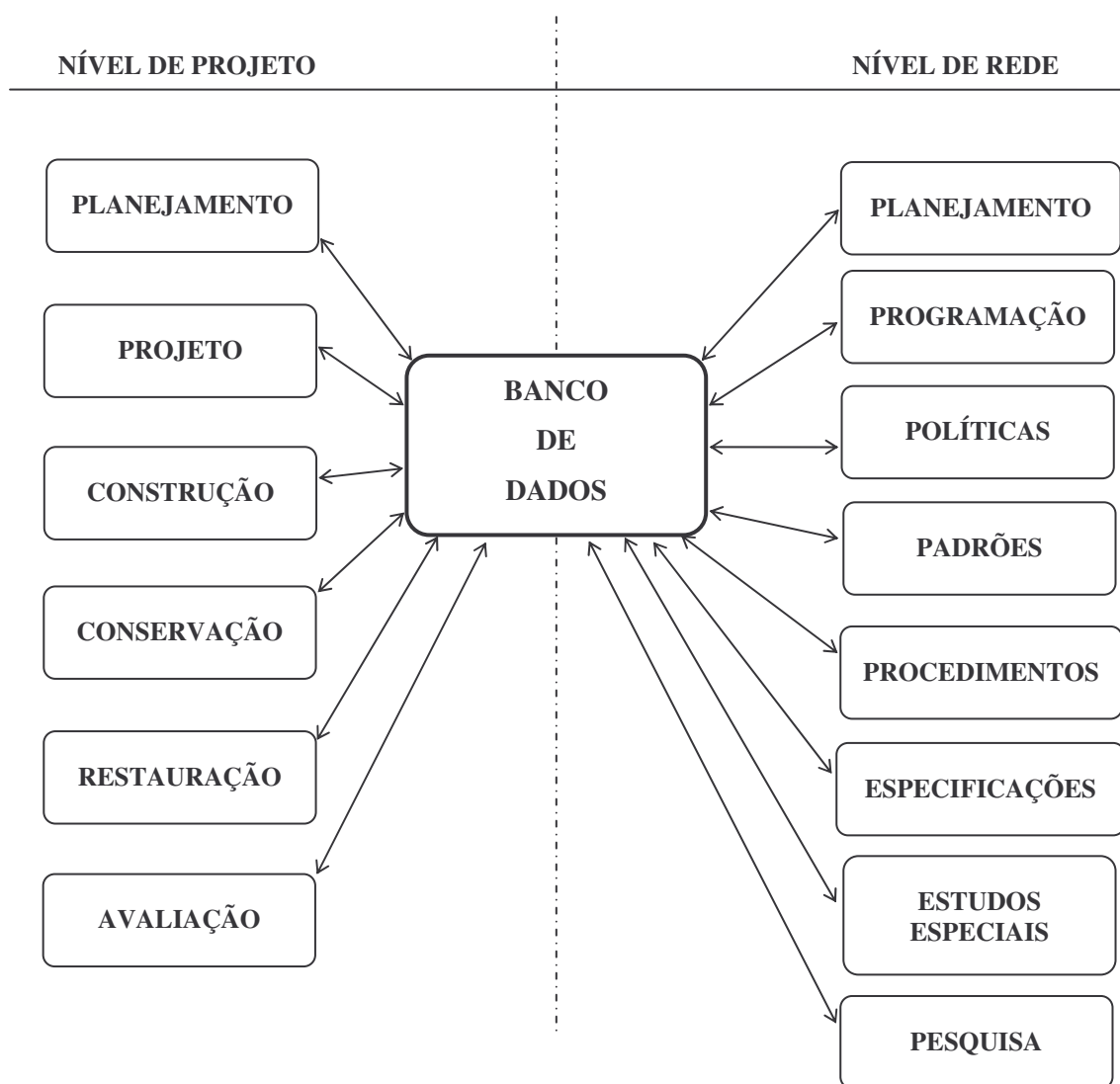
A pesquisa é tratada por PETERSON (1987) e RODRIGUES (1999b) como uma atividade de processo contínuo, tanto para se aperfeiçoar o SGP como para procurar materiais e métodos mais eficazes.

Para HAAS e HUDSON (1978), essa atividade pode ser iniciada a partir de problemas verificados nas atividades de planejamento, projeto, construção ou manutenção. Ressalte-se que os responsáveis pelos pavimentos de uma rede, assim como a maior parte dos envolvidos no gerenciamento, normalmente, fazem extensivo uso das informações adquiridas nessa etapa.

### 2.2.7. Banco de Dados

HAAS e HUDSON (1978) têm mostrado relevância do banco de dados, em virtude do seu papel na aquisição coordenada e no armazenamento das informações de todas as outras atividades do SGP. Ressaltam, ainda, que os bancos de dados podem variar desde um simples sistema manual armazenador de informações até complexos sistemas computadorizados.

O mesmo destaque ao banco de dados é apreciado por ROMAN *et al.* (1985) *apud* PETERSON (1987), quando o considera como elo central de todo um SGP, apresentando-o através do fluxograma da Figura 2.4.

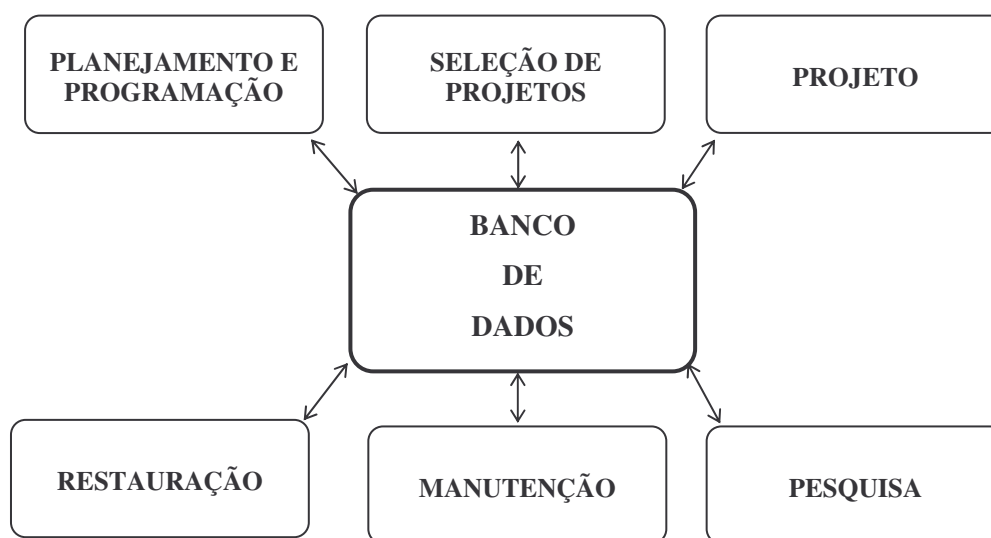


**Figura 2.4** – Atividades de um SGP em nível de rede e de projeto, com ênfase para o banco de dados. ROMAN *et al.* (1985) *apud* PETERSON (1987).

O fluxograma da Figura 2.4 é semelhante àquele construído por FINN (1979) *apud* PETERSON (1987), apresentado na Figura 2.2, uma vez que também divide as atividades nos dois níveis de gerenciamento. A diferença verificada está na quantidade de atividades em ambos os níveis, além do fato de que no fluxograma da Figura 2.4 o banco de dados é elemento central do SGP.

Sabe-se que o banco de dados é uma atividade essencial e necessária para um bom funcionamento e desempenho de qualquer SGP, pois é nele que estão guardadas todas as informações e as características das demais atividades. Daí o destaque manifestado por inúmeros autores à essa atividade.

Seguindo a tendência de importância transferida ao banco de dados pela maioria das obras desta pesquisa bibliográfica, HAAS, HUDSON e ZANIEWSKI (1994) apresentam o fluxograma da Figura 2.5 com as atividades descritas anteriormente, tendo a atividade de banco de dados centralizado no SGP.



**Figura 2.5** – Atividades de um SGP com ênfase para o banco de dados. HAAS, HUDSON e ZANIEWSKI (1994).

### 2.3. SISTEMAS DE GERÊNCIA DE PAVIMENTOS AEROPORTUÁRIOS

Apesar de essa pesquisa ter o foco no contexto aeroportuário, verificou-se nesta revisão bibliográfica que não há diferenças significativas nas definições dos SGPA (*Airport Pavement Management Systems* – APMS). Independente do campo de



aplicação, se em rodovias ou em aeroportos, é notório que os SGP oferecem inúmeros benefícios aos seus usuários, principalmente aos que tomam decisões.

Para FONSECA (2003), os esforços de implantação dos sistemas na década de 80 envolveram a realização de várias atividades que consistiram, essencialmente, em análises das condições funcionais e estruturais dos pavimentos. A procura pela obtenção de dados mais abrangentes levou à realização de levantamentos e de medições de rugosidade, de atrito e de deflexões. A necessidade de fundos para as atividades de conservação e de restauração induziu a aquisição de *softwares* prontos desenvolvidos pelas agências rodoviárias ou aeroportuárias.

Na década de 90, ainda segundo FONSECA (2003), os dados obtidos tornaram-se matéria de reflexão para as equipes técnicas. A tecnologia adotada, em muitas ocasiões, possuía um nível operacional que não era viável aos mercados locais, especialmente nos países em desenvolvimento.

Atualmente, na opinião de MACEDO (2005), um SGPA apresenta-se como uma das formas de atuação mais eficazes dentro de um programa de manutenção de pavimentos, pois garante serventia e segurança mínima às condições operacionais do complexo aeroportuário, envolvendo seus pátios e pistas.

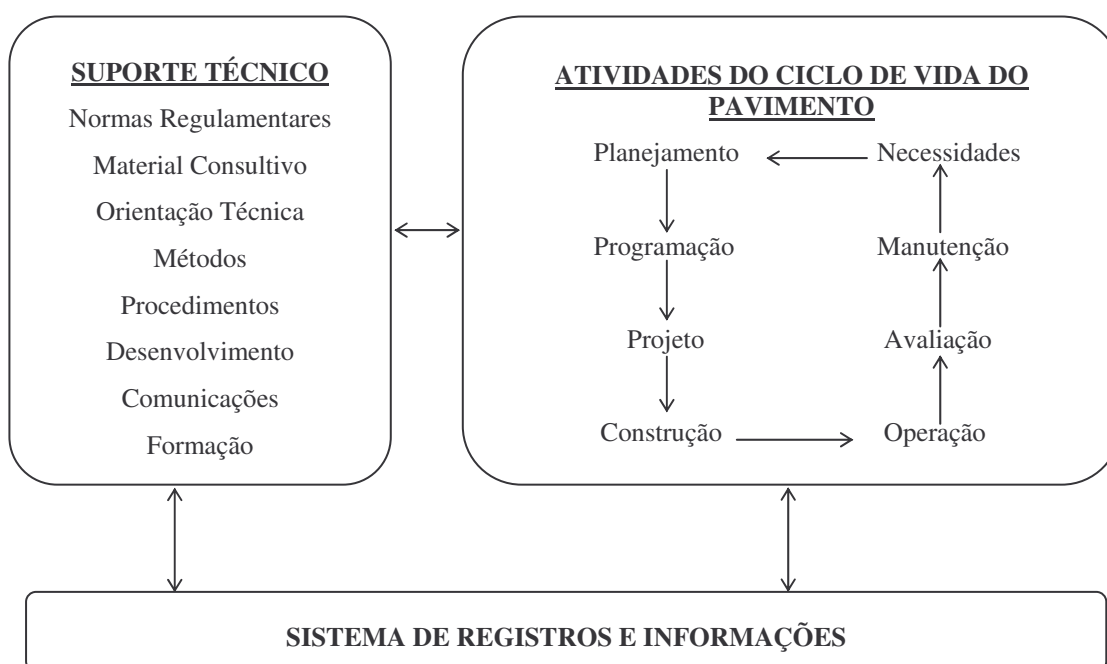
No cenário aeroportuário, estudos das administrações aeroportuárias, das agências reguladoras e das autoridades aeronáuticas abordaram o assunto, prioritariamente, com foco na gestão racional dos recursos orçamentários disponibilizados que, como foi mencionado na justificativa desta pesquisa, são insuficientes.

Além dessa limitação, os recursos, na sua maioria, são públicos e provenientes de impostos, de taxas ou de tarifas, e assim necessitam que sejam bem aplicados, haja vista o retorno que deve ser dado à sociedade que, indiretamente, fez esse investimento. Dessa forma, é necessário prevê as condições existentes e futuras de uma rede de pavimentos para que se possa ter um maior controle sobre o dinheiro a investir, e assim obter uma base confiável para a alocação desses recursos.

Desse modo, torna-se imprescindível que o administrador aeroportuário disponha de um SGPA que o auxilie no processo de tomada de decisões, de forma a prover, manter e operar com segurança os pavimentos aeroportuários, dentro de padrões internacionais de operação e de segurança.

De acordo com o TRANSPORT CANADA (2007), o objetivo básico de um SGPA é alcançar o melhor valor possível para os recursos públicos disponíveis e proporcionar um transporte confortável, eficiente, econômico e, principalmente, seguro aos seus usuários. Percebe-se, então, uma explícita preocupação com a segurança do transporte, especialmente, quando se refere à modalidade aérea. Nenhuma outra definição apresentada neste trabalho faz referência direta à segurança do transporte aéreo. Como já citado anteriormente nesta pesquisa, os acidentes aéreos proporcionam perdas materiais e humanas irrecuperáveis.

As atividades de um SGPA, para o TRANSPORT CANADA (2007), são praticamente as mesmas apresentadas por HAAS e HUDSON (1978) e ICAO (1997). A diferença está na interação que as Atividades de Ciclo de Vida do Pavimento, estas de responsabilidade das autoridades aeroportuárias, possuem com o Suporte Técnico, compreendido pelas normas e procedimentos. Tudo isso amparado por um consistente Sistema de Registros e Informações – banco de dados, apresentado na Figura 2.6.



**Figura 2.6** – Atividades de um SGPA. TRANSPORT CANADA (2007) – Adaptado.

As Atividades do Ciclo de Vida do Pavimento, de acordo com o fluxograma da Figura 2.6, iniciam-se com o planejamento das tarefas, no qual se verificam as prioridades da rede e se estabelece a política de gerenciamento dos pavimentos.

A programação dos recursos financeiros e materiais disponíveis é a atividade subsequente. Essa tarefa é de grande importância, uma vez que a partir dela é que ocorre a concepção do projeto e, por sucessão, a construção dos pavimentos.

Uma vez construído, as operações das aeronaves começarão a condicionar as características da superfície dos pavimentos que devem ser avaliados regularmente para assegurar as condições de operações e de segurança adequadas. Os resultados das atividades de avaliação contribuem positivamente para os programas de conservação e de restauração.

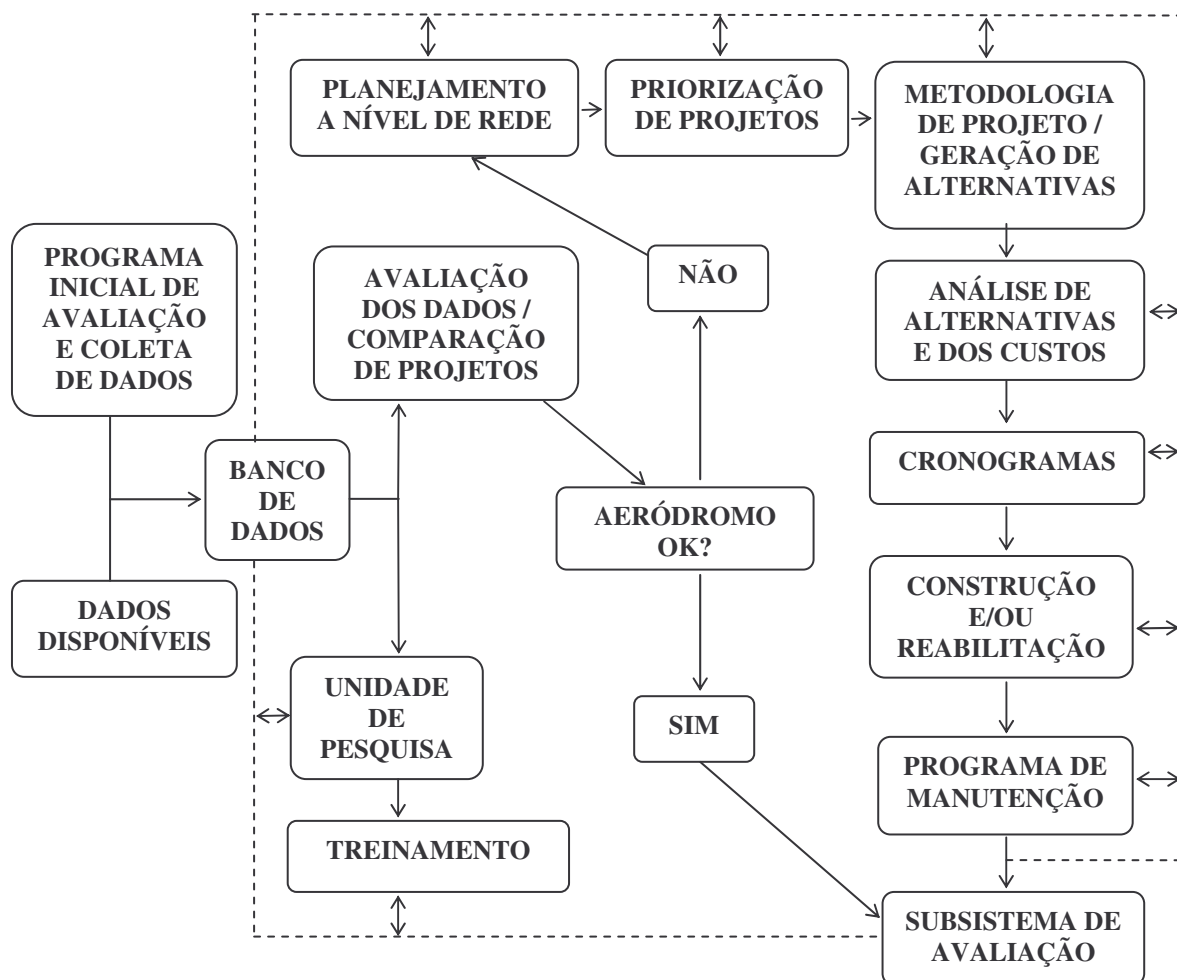
Na opinião do TRANSPORT CANADA (2007), muitos administradores aeroportuários, por não disporem de conhecimento técnico apropriado exigem serviços e apoio da engenharia que devem ser fornecidos usando esforços cooperados do governo, da indústria dos transportes e de outras administrações aeroportuárias.

As atividades do SGPA, conforme apresentado no fluxograma da Figura 2.6, devem ser integradas, compatíveis e realizadas em um trabalho conjunto. Um processo realizado de forma descontínua interrompe o ciclo e o desenvolvimento de todas as outras atividades, assim como se não houver o apoio do Suporte Técnico e do Sistema de Registro de Informações bem atualizado.

O Sistema de Registro de Informações também merece destaque, já que em muitas situações, de acordo com os estudos do TRANSPORT CANADA (2007), eles são esquecidos, principalmente, quando não lhes são fornecidas as informações obtidas nas demais atividades. Nessa atividade específica devem ser mantidos, dados técnicos sobre o plano inventário dos pavimentos, histórico de construção, resumos da avaliação dos pavimentos, síntese das características do solo da sub-base e dados ambientais, dentre outras informações.

Assim, considerando a ênfase atribuída ao gerenciamento dos dados, CARDOSO (1988b) propôs um SGP para aeroportos brasileiros com o objetivo de dispor de informações confiáveis para serem utilizadas na administração e na alocação

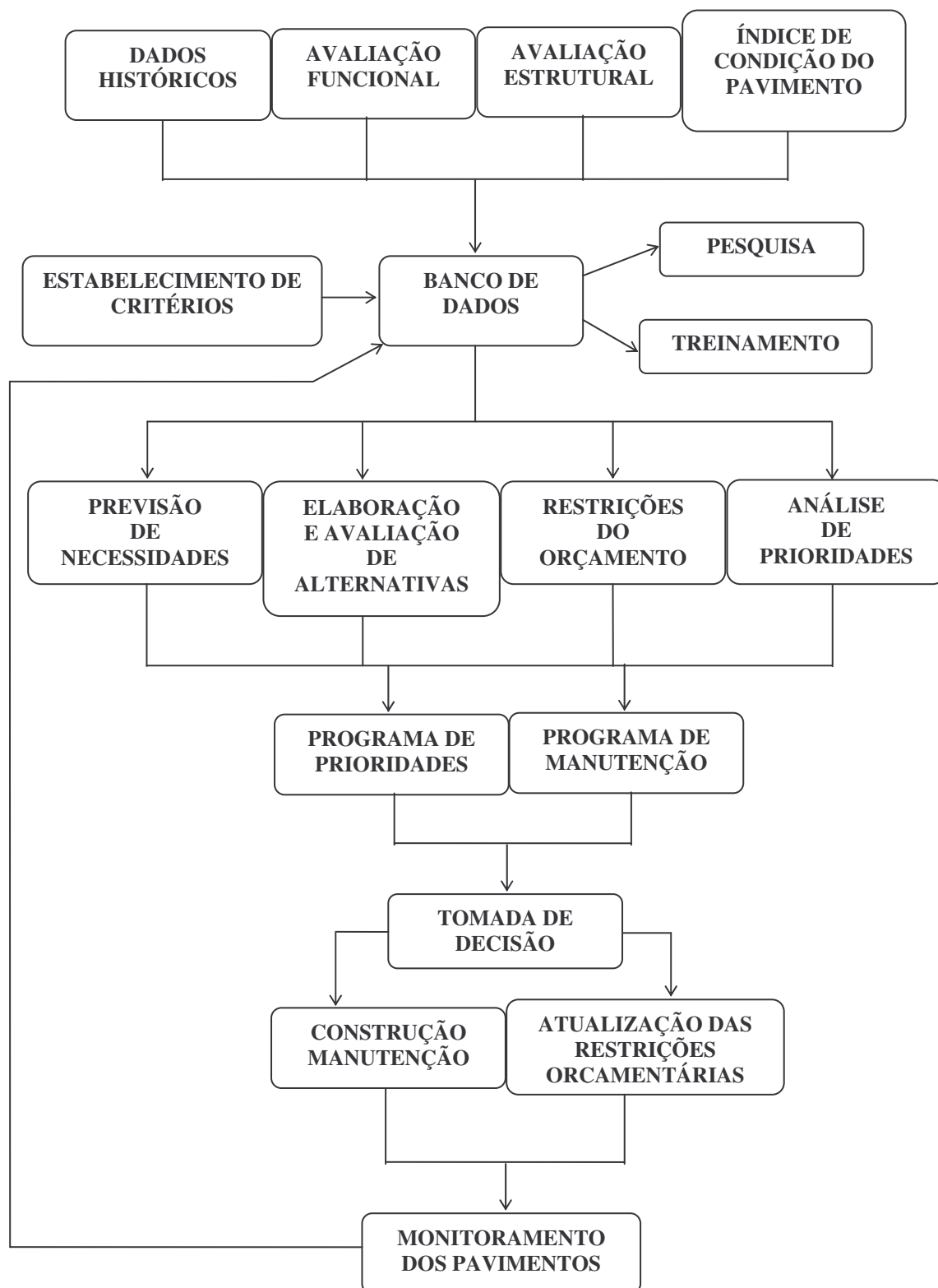
dos recursos para um conjunto de aeroportos em serviço, conforme o fluxograma da Figura 2.7.



**Figura 2.7** – SGP proposto para os aeroportos brasileiros. CARDOSO (1988b).

MACEDO NETO (1992) declara que todas as informações pertinentes aos SGPA devem compor um conjunto coordenado e de fácil acessibilidade, para subsidiar as rotinas de planejamento e análise. Afirma, ainda, que quanto maior for o nível de informações reunidas sobre os pavimentos, mais acertadas e rápidas serão as decisões sobre as alternativas técnicas e investimentos a serem programados.

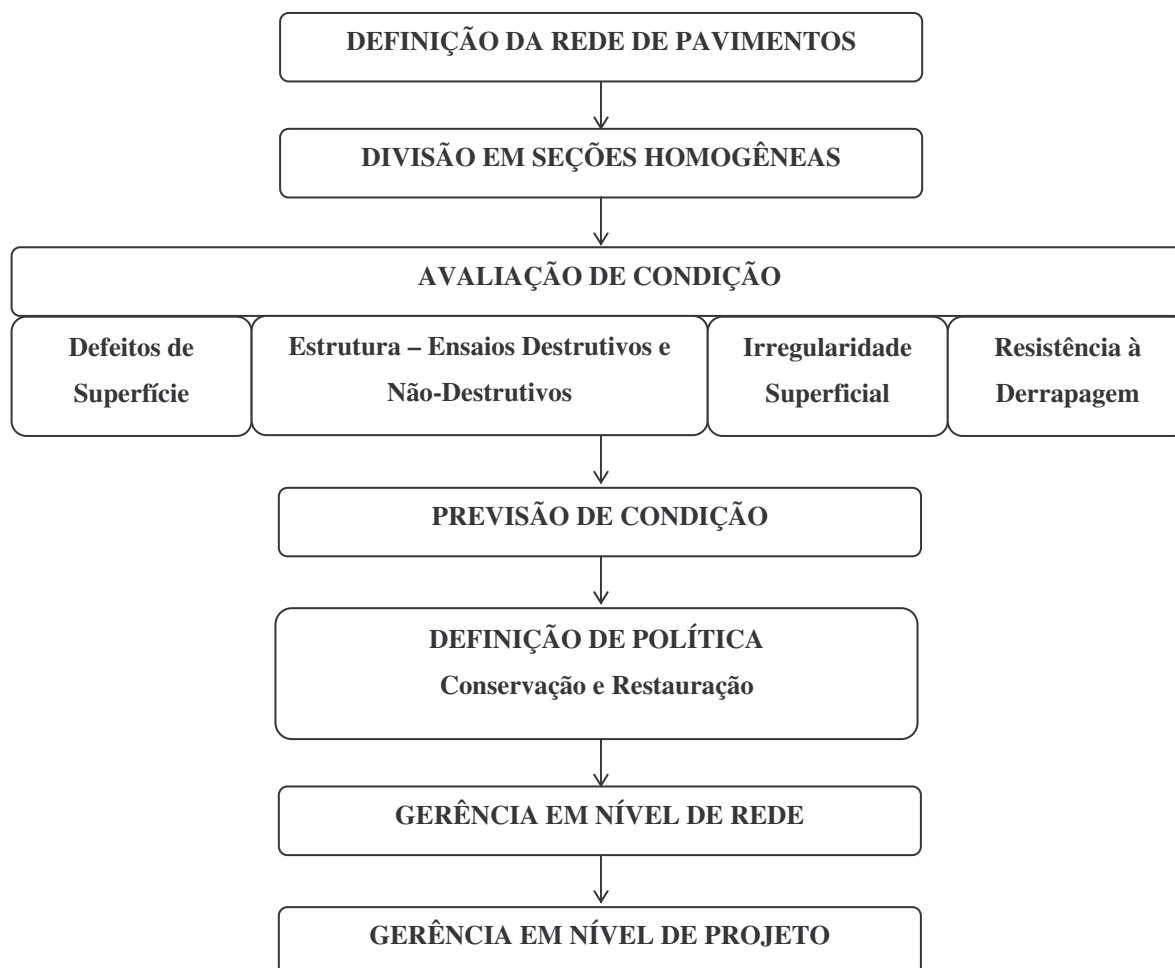
Na sua pesquisa, MACEDO NETO (1992) concebeu um SGPA especificamente para a rede INFRAERO com base numa estrutura composta de sete partes principais: estabelecimento de critérios, análises, seleção, tomada de decisão, implementação, monitoramento e banco de dados, conforme mostra o fluxograma da Figura 2.8.



**Figura 2.8** – SGPA destinado à INFRAERO. MACEDO NETO (1992).

Segundo a INFRAERO (2005), uma das principais metas de um SGPA é a de oferecer e garantir, de modo econômico, um conjunto de estruturas e/ou equipamentos

que proporcione um padrão de serventia operacional aceitável e adequado à sua finalidade, e que siga um determinado fluxo conforme a Figura 2.9.



**Figura 2.9** – Fluxo de um SGPA. INFRAERO (2005).

Para a FAA (2006a), um SGPA tem a finalidade de fornecer uma ferramenta consistente, objetiva e sistemática para estabelecimento de políticas de facilidades, definição de prioridades e programas de alocação de recursos para a manutenção e restauração de pavimentos de uma determinada rede de pavimentos aeroportuários.

O SGPA, ainda de acordo com o FAA (2006a), também pode fornecer informações e quantificar as recomendações específicas para as ações necessárias. Essas devem ser destinadas a manter uma rede de pavimento em um nível de serviço aceitável, ao mesmo tempo minimizando os custos de conservação e de restauração e maximizando os benefícios.

É preciso, então, que o administrador aeroportuário possua algum parâmetro ou indicador que o auxilie nesse processo. Dentre os mais utilizados e confiáveis está o Índice de Condição do Pavimento (*Pavement Condition Index – PCI*) desenvolvido pelo Corpo de Engenheiros do Exército Americano (*United States Army Corps of Engineering – USACE*).

Ainda para a FAA (2006a), o SGPA destina-se aos administradores aeroportuários, engenheiros e equipes de manutenção. Com algumas semelhanças dos sistemas apresentados anteriormente nesta pesquisa, a FAA (2006a) define o banco de dados e a capacidade do sistema como um dos seus elementos essenciais.

Dada a evidente importância dos bancos de dados para um SGPA, a FAA (2006a) recomenda que nesses devam estar armazenadas informações sobre a estrutura dos pavimentos, históricos de manutenção, custos, tráfego e condições do pavimento. Além disso, a localização de todos os pátios e pistas, dimensões, tipo de pavimento, ano de construção, restaurações e a assistência financeira do governo.

A capacidade do sistema, na concepção da FAA (2006a), é o elemento do SGPA responsável pela predição da condição futura do pavimento, determinação do plano de conservação e de restauração considerando o orçamento disponível, priorização dos projetos e determinação dos requisitos orçamentários para cumprir os objetivos da administração aeroportuária.

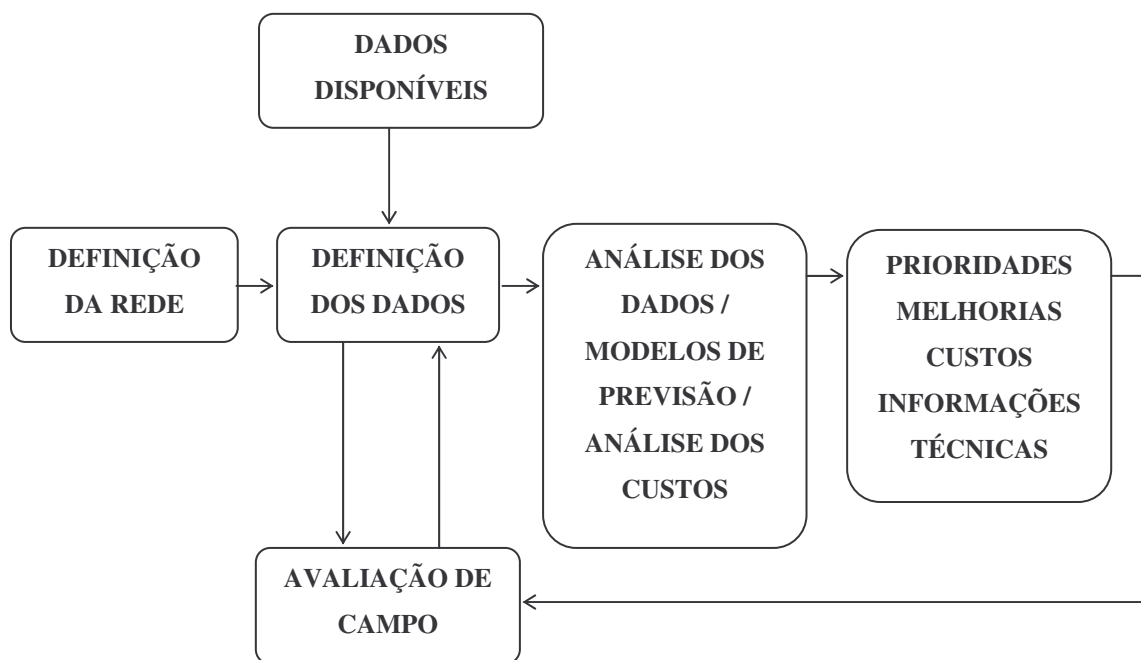
Da mesma forma que os estudos e as obras citados anteriormente nesta revisão bibliográfica, a FAA (2006a) divide os níveis de gerenciamento em dois: rede e projeto.

No nível de rede, a FAA (2006a) considera que os questionamentos formulados devem ser respondidos a curto e a longo prazo, de acordo com as necessidades orçamentárias, além de incluir o estado global, atual e futuro, da rede aeroportuária pavimentada.

No gerenciamento em nível de projeto, de acordo com a FAA (2006a), as decisões são feitas sobre a melhor relação custo-benefício para as alternativas de conservação e de restauração para os pavimentos identificados na análise da rede.

Recomenda-se, nesse nível, que ensaios devam ser realizados para se determinar a capacidade de carga do pavimento, assim como levantamentos de textura superficial e de atrito podem ser de grande utilidade para o desenvolvimento do projeto.

Para a ICAO (1997), o alcance de um SGPA vai mais além das atividades executivas de conservação e de restauração, pois seu maior objetivo é planejar, priorizar e racionalizar o destino e a aplicação dos recursos nos pavimentos aeroportuários. É necessário lembrar, no entanto, que todas as atividades de um SGPA estão relacionadas com as disponibilidades financeiras e com as informações constantes do banco de dados. Um SGPA para a ICAO (1997) deve ser implantado nas fases apresentadas conforme o fluxograma da Figura 2.10.



**Figura 2.10** – Fases de implantação de um SGPA. ICAO (ICAO, 1997).

Apesar de ser uma prática relativamente recente se comparada aos SGP rodoviários, a aplicação dos SGPA têm trazido inúmeros benefícios para aqueles que os utilizam. Um relato de sucesso vem do Departamento de Aviação da Virgínia (*Virginia Department of Aviation – VDOA*), nos Estados Unidos, citado por BROTON e MCNEELY (1995), que implementou, em 1990, um SGPA priorizando as atividades de manutenção da sua rede de pavimentos aeroportuários.



O indicador utilizado pelo VDOA para medir a condição dos seus pavimentos foi o PCI que, no início das atividades do SGPA era, em média, de 76 (muito bom). Em 1993, ou seja, apenas três anos após o uso do SGPA, o PCI passou para 84 (muito bom próximo a excelente), sem acréscimos significativos com gastos de manutenção.

Isso demonstra a importância da implantação e da utilização de um bem elaborado SGPA que contemple efetivas estratégias de conservação e de restauração.

## 2.4. TÉCNICAS DE MANUTENÇÃO

Sabe-se que todos os pavimentos gradualmente se deterioram com o tempo. Essa deterioração é normalmente evidenciada pelo aparecimento de diferentes tipos de defeitos de superfície, causados pela combinação de condições climáticas e ambientais, pelas operações de pousos, decolagens, deslocamentos das aeronaves, materiais utilizados e técnicas construtivas.

SHAHIN (2005) ilustra graficamente, através da Figura 2.11, como um pavimento, em geral, se deteriora com relação ao tempo, assim como o custo relativo de restauração em diversas ocasiões ao longo de sua vida. O mesmo gráfico orientou os estudos de diversos autores e organizações ao longo desta revisão bibliográfica, especialmente ICAO (1997), FAA (2006a) e TRANSPORT CANADA (2007).

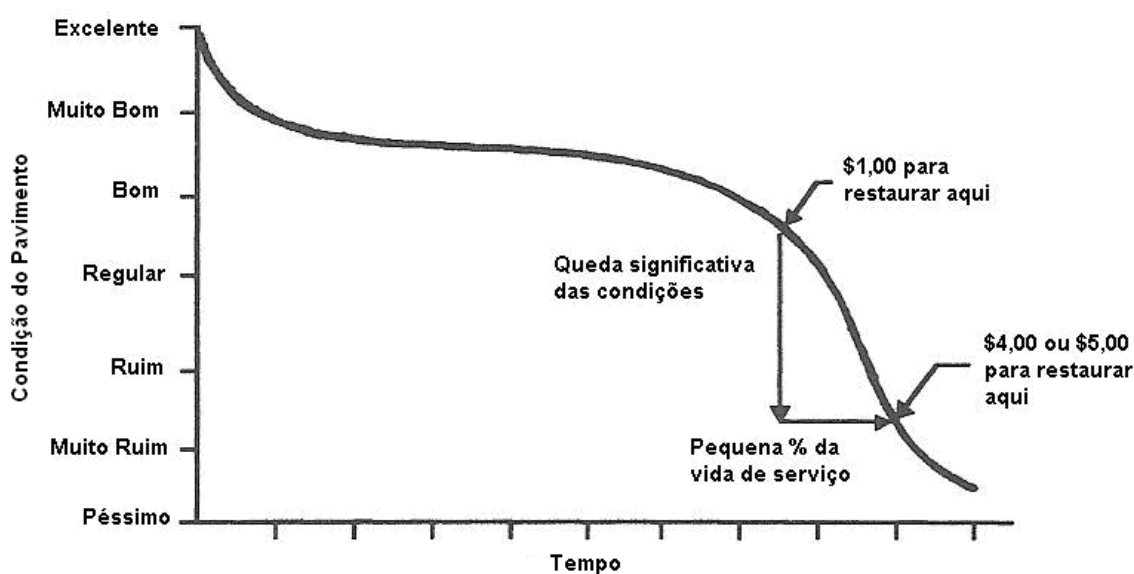


Figura 2.11 – Gráfico da condição do pavimento x tempo. SHAHIN (2005).

O gráfico da Figura 2.11 traduz a opinião de WELLS e YOUNG (2004) de que durante os primeiros 75% de sua vida, o desempenho dos pavimentos é relativamente estável. É durante os 25% restantes que o pavimento começa a deteriorar-se rapidamente. O desafio dos SGPA e de outros SGP está na previsão de quando os pavimentos chegarão aos 75% de sua vida útil, e o mais importante, não permitir que esse patamar seja ultrapassado, evitando, dessa forma, sua perda total.

A ICAO (2002), afirma que a meta das autoridades aeroportuárias deve ser manter a área de movimento das aeronaves isenta de qualquer defeito que possa afetar adversamente o desempenho das aeronaves.

Ressalte-se que segundo informações do TRANSPORT CANADA (2007) esses defeitos, se não reparados, podem se tornar severos o suficiente a ponto de comprometer a segurança e a eficiência das operações das aeronaves, ocasionando sérios acidentes.

Segundo HUDSON, HAAS e UDDIN (1997), os defeitos são frequentemente utilizados como medida de desempenho de pavimentos de aeroportos e, ainda, acrescentam, que dependendo do grau de severidade apresentado pelo pavimento, pequenas partículas provenientes de sua deterioração tornam-se perigos potenciais se sugadas pelos motores das aeronaves.

Ao longo dos últimos anos verificou-se um aumento significativo do tráfego aéreo em todo o Brasil. Na capital cearense, e no Nordeste como um todo, o crescimento foi impulsionado, principalmente, pelas políticas públicas de incentivo ao turismo. Como consequências surgiram operações com aeronaves de maior porte e capacidade de transporte de passageiros e de cargas, demandando essa evolução a necessidade de pistas mais funcionais e resistentes.

Inúmeras são as estratégias de conservação e de restauração em pavimentação asfáltica aeroportuária apresentadas por empresas especializadas no assunto e alguns autores, como SPEIDEL (2002), OLIVEIRA e NOBRE JÚNIOR (2008a e 2008b) e OLIVEIRA (2008). Entretanto, esta pesquisa concentrou sua atenção no estudo de alternativas que fossem destinadas à melhoria das condições de superfície dos pavimentos aeroportuários, principalmente no que diz respeito à macrotextura e ao coeficiente de atrito.

Quando se trata de pavimentos flexíveis aeroportuários, base desta pesquisa, os defeitos que surgem na sua superfície não diferem substancialmente daqueles que se encontram nos pavimentos rodoviários. Para a ICAO (1997), assim como para o ASPHALT INSTITUTE (1983), os principais defeitos podem ser classificados de uma forma generalizada em: trincas, desintegração, deformação superficial e perda de resistência à derrapagem.

ANDUZE, KATO e ALEMÃO (1981) afirmam que medidas preventivas devem ser aplicadas no revestimento dos pavimentos aeroportuários com o objetivo de evitar uma maior deterioração, assim como garantir a sua preservação e a integridade da sua estrutura.

As técnicas de reparo de pavimentos flexíveis, conforme SILVA (2005), não têm por finalidade aumentar a capacidade estrutural do pavimento, mas sim aplicar alternativas de manutenção, com o objetivo de evitar o desprendimento de agregados e melhorar as condições de atrito, dentre outros benefícios funcionais.

Os defeitos gerais citados anteriormente podem ser subdivididos, conforme FONSECA (1990), BALBO (1997) e FERNANDES JÚNIOR, ODA e ZERBINI (1999), nos seguintes tipos específicos:

- a) trincas: longitudinais de borda e de junta, transversais, tipo couro de jacaré, de contração, de escorregamento e de reflexão;
- b) desintegração: oxidação, desgastes, erosões superficiais e buracos;
- c) deformação superficial: trilhas de roda, corrugações e depressões; e,
- d) perda de resistência à derrapagem: microtextura lisa, macrotextura excessivamente aberta, macrotextura fechada e declividades superficiais inadequadas.

Quanto aos três primeiros tipos específicos de defeitos, esta pesquisa não apresentará considerações acerca de suas características, causas prováveis de ocorrência e recomendações de tratamento, uma vez que obras como as citadas anteriormente, além de SENÇO (2001) e DNIT (2006), tratam com bastante propriedade essas questões.

Contudo, a perda de resistência à derrapagem, sendo o tipo de defeito mais favorável à ocorrência de acidentes e/ou incidentes envolvendo aeronaves será abordada

com mais ênfase, uma vez que os parâmetros de textura superficial – macrotextura e microtextura, e de coeficiente de atrito estão diretamente associados ao defeito.

Segundo FONSECA (1990) e ICAO (1997), a microtextura lisa caracteriza-se por apresentar agregados da superfície polidos e lisos ao tato. As causas mais prováveis desse tipo de defeito devem-se ao uso de agregados inadequados e a ação do tráfego.

No que diz respeito aos problemas relacionados à macrotextura, ainda conforme FONSECA (1990) e ICAO (1997), tem-se que a macrotextura excessivamente aberta é caracterizada por uma superfície bastante rugosa causada por misturas betuminosas inadequadas ou agregados muito resistentes à abrasão. Por sua vez, enquanto a macrotextura fechada apresenta pouca ou nenhuma rugosidade, em virtude de problemas de exsudação, misturas ou compactações inadequadas da capa betuminosa ou a existência de algum contaminante, sendo o mais comum a borracha proveniente dos pneus das aeronaves.

Para a quase totalidade desses problemas, as recomendações da USACE (1982), FONSECA (1990), ICAO (1997), DNIT (2006), BERNUCCI *et al.* (2007) e FAA (2003b), consistem na execução das seguintes aplicações ou execuções:

- a) lama asfáltica;
- b) tratamento superficial – simples, duplos ou triplos;
- c) microrevestimento asfáltico – a frio ou a quente;
- d) misturas do tipo camada porosa de atrito – CPA e matriz pétreo asfáltica (*Stone Matrix Asphalt – SMA*);
- e) ranhuras transversais na superfície do pavimento – *grooving*; e,
- f) remoção do contaminante.

Exceção é feita para as situações em que a realização desses serviços não mais proporciona o efeito desejado ao pavimento. Nesse caso, é necessária a realização de obras de restauração severas como a reconstrução do revestimento afetado.

As atividades de manutenção listadas anteriormente serão descritas nos parágrafos seguintes, tendo como base estudos e práticas dos mais diversos órgãos e autores.

Para o DNIT (2006), a lama asfáltica é uma mistura resultante da união de agregados ou mistura de agregados miúdos, *filler* como material de enchimento, água e emulsão asfáltica. Segundo a especificação de serviço do DNIT (DNER, 1997d) a aplicação de lama asfáltica proporciona uma camada de selamento, impermeabilização e rejuvenescimento do pavimento.

A aplicação de lama asfáltica, segundo o DNIT (2006), é recomendada quando se pretende melhorar a macrotextura dos revestimentos. A execução dos serviços ocorre por penetração invertida: aplicação de ligante asfáltico, geralmente empregado a emulsão asfáltica, e uma de agregado miúdo (areia ou pó de pedra).

Os tratamentos superficiais simples – TSS, duplos – TSD ou triplos – TST, cujas especificações de serviços para o caso rodoviário são apresentadas pelo DNIT (DNER, 1997a, 1997b e 1997c), são camadas de revestimentos constituídas de uma, duas ou três aplicações sucessivas de ligante betuminoso cobertas por agregados, submetidas a um processo de compactação.

O microrevestimento asfáltico, de acordo com a BR DISTRIBUIDORA (2008), é um tratamento composto por emulsão asfáltica modificada por polímeros, agregados britados com granulometria específica, *filler* mineral e água, misturados e aplicados por usinas móveis especiais. Se a frio ou a quente, dependerá do tipo de espalhamento e aplicação no pavimento. Para a Agência Reguladora de Transporte do Estado de São Paulo (ARTESP, 2008) esse tipo de microrevestimento propicia uma camada com textura homogênea e grande coeficiente de atrito.

Segundo o DNIT (2006), a camada porosa de atrito – CPA é composta por uma mistura asfáltica a quente ou a frio caracterizada por grande percentagem de agregados de mesmo tamanho, garantindo elevado teor de vazios de cerca de 15% a 25% na mistura. Esse tipo de mistura proporciona superfícies mais aderentes, o que minimiza as ocorrências de aquaplanagem.

Tal redução é de suma importância quando se trabalham com pistas de aeroportos, especialmente aquelas destinadas aos pousos e as decolagens de aeronaves. Um exemplo de aplicação de CPA pode ser verificado na pista principal do Aeroporto Santos Dumont, no Rio de Janeiro, conforme se apresenta na Figura 2.12.



**Figura 2.12** – Camada Porosa de Atrito aplicada no Aeroporto Santos Dumont, Rio de Janeiro. BR DISTRIBUIDORA (2005).

Trata-se a matriz pétreo asfáltica ou mais conhecida como SMA (*Stone Matrix Asphalt*), terminologia adotada nos Estados Unidos e no Brasil, segundo BERNUCCI *et al.* (2007), de um revestimento asfáltico, usinado a quente, rico em ligante asfáltico, consumo de 6% a 7,5%, composição elevada de agregados graúdos e com volume de vazios variando entre 4% a 6%. O SMA, para a IPIRANGA ASFALTOS (2008) oferece resistência a deformação, ao desgaste e a derrapagem, redução do *spray* de água e da reflexão da luz em condição de pista úmida e diminuição do ruído do tráfego.

BERNUCCI *et al.* (2007) afirmam que a utilização dessas técnicas/estratégias de manutenção pode ocorrer de forma isolada ou combinada, quando o pavimento não apresentar problemas estruturais. Possuem o objetivo de restaurar a aderência superficial quando existe condição abrasiva do tráfego, bem como melhorar as condições de atrito e escoamento da água superficial.

A execução de ranhuras transversais – *grooving* na superfície do revestimento, de pavimentos aeroportuários, de acordo com a FAA (1997), é uma técnica efetiva de aumento da resistência à derrapagem e prevenção de aquaplanagem, especialmente quando molhados.

O *grooving* pode ser executado tanto em pavimentos rígidos como em flexíveis, conforme a Figura 2.13, e a recomendação da FAA (1997) é de que ocorra durante a construção desses pavimentos. Para implementação nas pistas em serviço, é necessário

avaliar fatores como histórico de acidentes envolvendo aeronaves em virtude da aquaplanagem, frequência de chuvas, comprimento e disponibilidade das pistas de pousos e decolagens, qualidade da macrotextura e da microtextura da superfície quando seca e molhada, dentre outras questões.



**Figura 2.13** – *Grooving* em pavimento aeroportuário.

Dentre as estratégias de manutenção citadas, sabe-se que a remoção de contaminante, especificamente a borracha proveniente dos pneus das aeronaves, tem sido a atividade mais executada pelas administrações aeroportuárias brasileira nos últimos tempos. Em virtude disso, esta pesquisa, em capítulo posterior, apresentará considerações mais detalhadas sobre os métodos de extinção preconizados pela ICAO (2002) e FAA (1997), com ênfase para a utilização de jato de água de alta pressão ou hidrojateamento.

## **2.5. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Neste capítulo abordaram-se as atividades, elementos e finalidades inerentes aos Sistemas de Gerência de Pavimentos e as técnicas de manutenção com o objetivo de proporcionar melhoria nas condições funcionais dos pavimentos aeroportuários, especialmente aquelas relacionadas à macrotextura e ao atrito. Isso como forma de subsidiar a escolha da estratégia mais adequada, inserida em um SGPA.

Tais estratégias serão propostas para aplicação nos pavimentos do Aeroporto Internacional de Fortaleza que será descrito no próximo capítulo, a fim de justificar a escolha da área do estudo de caso.

## CAPÍTULO 3

### ESCOLHA DA ÁREA DO ESTUDO DE CASO

Procura-se, neste capítulo, justificar a escolha do Aeroporto Internacional de Fortaleza como o local para o desenvolvimento desta pesquisa. Para isso, apresenta-se um histórico da origem do citado aeroporto, informações sobre a empresa que o administra, dados relevantes da sua atual operacionalidade e da infraestrutura disponível.

#### 3.1. A ORIGEM DO AEROPORTO INTERNACIONAL DE FORTALEZA

Foi durante a Segunda Guerra Mundial (1939-1945), com o ingresso dos Estados Unidos na batalha em dezembro de 1941, e após vários acordos entre os governos daquele país e o Brasil, que se verificou a necessidade de construção de bases de apoio mais funcionais e estratégicas para as missões americanas. Essas bases deveriam estar presentes, principalmente, em algumas capitais do Norte e Nordeste brasileiro.

Apesar de Fortaleza já possuir desde 1930 um pequeno aeródromo, denominado Alto da Balança, no interior do local onde atualmente funciona a Base Aérea de Fortaleza, foi necessária a construção de uma infraestrutura com capacidade de receber as tripulações e as modernas aeronaves de guerra.

A Base do Alto da Balança, de acordo com a DIRENG (1978), durante a Segunda Guerra Mundial, foi utilizada pela Força Aérea dos Estados Unidos (*United State Air Force* – USAF) como base aérea de apoio à operação militar denominada “Trampolim da África”.

Em julho de 1941, segundo OLIVEIRA e LAVÔR (2007), iniciou-se uma pesquisa para levantamento de uma área para construção de uma pista para outra base de apoio em Fortaleza. Nessa oportunidade, foi escolhido um terreno a cerca de 6 km do centro da capital. O local foi posteriormente denominado de Pici, as iniciais em inglês de Posto de Comando (*Post of Command* – PC). Nesse local encontra-se instalado, atualmente, o *Campus* do Pici, pertencente a Universidade Federal do Ceará – UFC.



As obras ficaram a cargo e financiamento da empresa aérea Panair do Brasil S.A., subsidiária da norte-americana *Pan American Airways Inc.*, através da implantação de um Programa de Desenvolvimento de Aeroportos (*Airport Development Program* – ADP) de sua responsabilidade.

A empresa foi autorizada pelo governo do então Presidente Getúlio Vargas, de acordo com SENADO FEDERAL (2007a), a construir, melhorar e aparelhar aeroportos no Amapá, Belém, São Luis, Fortaleza, Natal, Recife, Maceió e Salvador. Os custos com as benfeitorias realizadas nesses aeroportos seriam revertidos em crédito à Panair do Brasil S.A., para cobrir despesas com impostos, taxas e custos em geral.

A Panair do Brasil S.A. teria um prazo de 60 dias para iniciar as obras e dois anos para concluí-las. Dentre os serviços a serem realizados nos aeroportos estava a construção de novas pistas, reforma e ampliação das pistas existentes, com resistência suficiente para suportar a operação das grandes aeronaves da época.

Assim, de acordo com OLIVEIRA e LAVÔR (2007), o projeto para a base de Fortaleza, ou Base do Pici, previa a construção de uma pista de 5.000 pés de comprimento, cerca de 1.500 m, para permitir as operações das aeronaves que faziam o patrulhamento do litoral do Norte e Nordeste brasileiro.

Durante o processo de construção, com cerca de 75% de sua extensão finalizada, a pista da Base do Pici foi utilizada. Isso ocorreu em fevereiro de 1942 por ocasião do pouso de uma aeronave americana que se encontrava fora de sua rota original. As obras foram concluídas no mês subsequente.

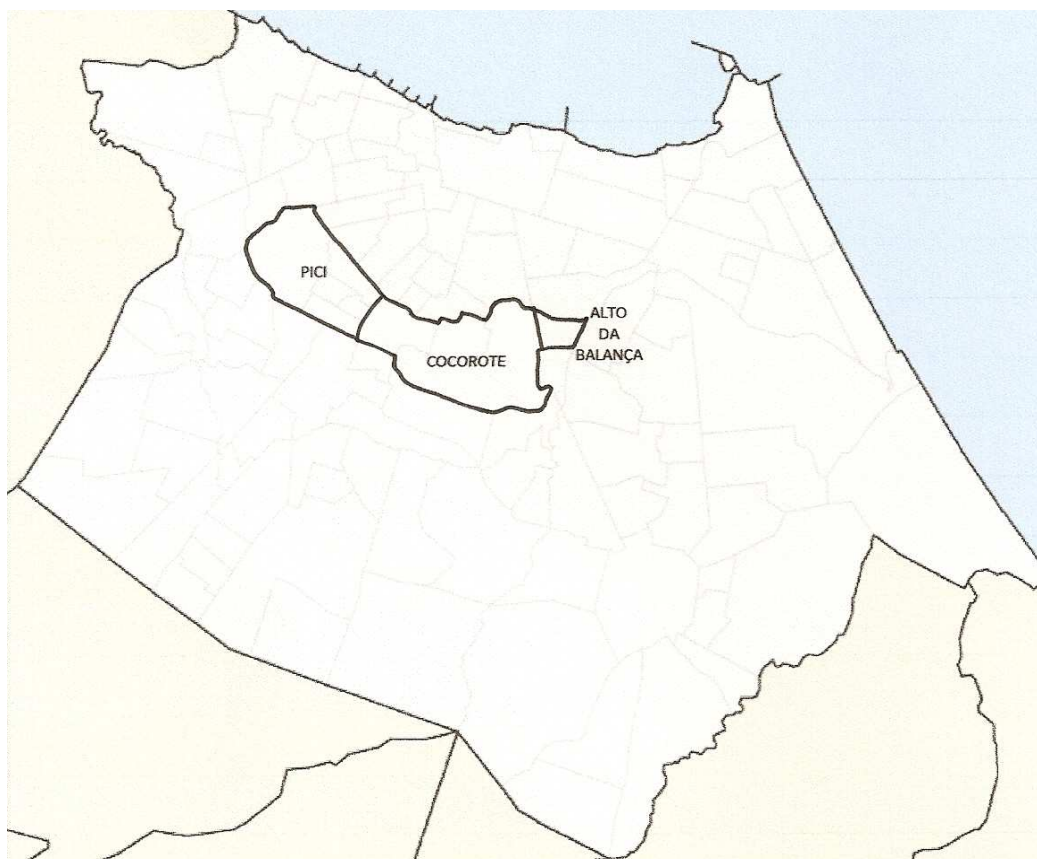
Contudo, estudos realizados por técnicos brasileiros e americanos demonstraram que a pista de pousos e de decolagens da Base do Pici possuía limitações nas suas dimensões e estruturas, não sendo apropriada para o tráfego aéreo pesado (NATIONAL ARCHIVES, 2007). Acrescente-se a essas questões, problemas no seu posicionamento que seria influenciado pela direção dos ventos, o que prejudicaria o desempenho das aeronaves durante as operações de pousos e de decolagens.

Esse conjunto de inviabilidades forçou os americanos a procurarem outra área mais adequada para a construção de uma nova base de apoio que permitisse as operações das grandes aeronaves de bombardeio. Além disso, era preciso proporcionar

uma maior operacionalidade à Base de Natal, no Rio Grande do Norte, já então saturada em virtude da grande movimentação.

A área escolhida na ocasião localizava-se em um bairro nobre da capital cearense, conhecida por Aldeota, e projetava construir uma pista em forma de “V” de dimensões superiores àquelas estabelecidas para a Base do Pici: cerca de 2.300 m de extensão. Porém, o projeto foi negado pelas autoridades da época e os influentes moradores daquela região.

Diante dessa situação, um novo local foi escolhido no bairro conhecido na época por Cocorote. Essa nova área estava localizada entre a Base do Pici e a Base do Alto da Balança, sendo adjacente a este, a aproximadamente 6 km ao sul da capital cearense, conforme mostra a Figura 3.1.



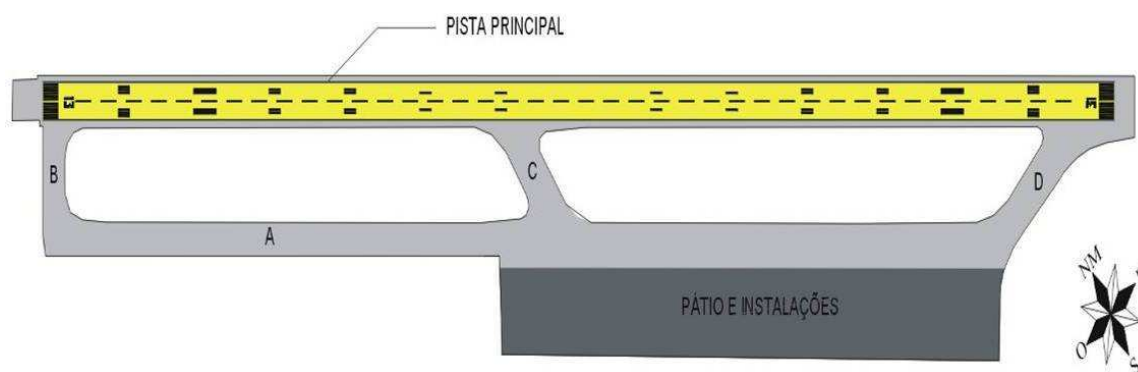
**Figura 3.1** – Localização geográfica do Pici, Cocorote e Alto da Balança.

Para a Base do Cocorote, segundo a DIRENG (1978), o projeto previa a construção de uma pista de pousos e de decolagens pavimentada em asfalto, com cerca de 2.100 m de comprimento por 60 m de largura – 45 m de largura útil mais os

acostamentos laterais de 7,5 m. Além disso, possuía cabeceiras de concreto, com 60 m de comprimento por 47 m de largura. Essa base deveria ser utilizada como apoio às ações táticas do Exército dos Estados Unidos (*United State of Army – US Army*).

De acordo com dados da NATIONAL ARCHIVES (2007), as obras da Base do Cocorote foram iniciadas em julho de 1943. Nesse mesmo período foram retomados os serviços para ampliação e melhorias da Base do Pici como forma de atender a demanda militar da época.

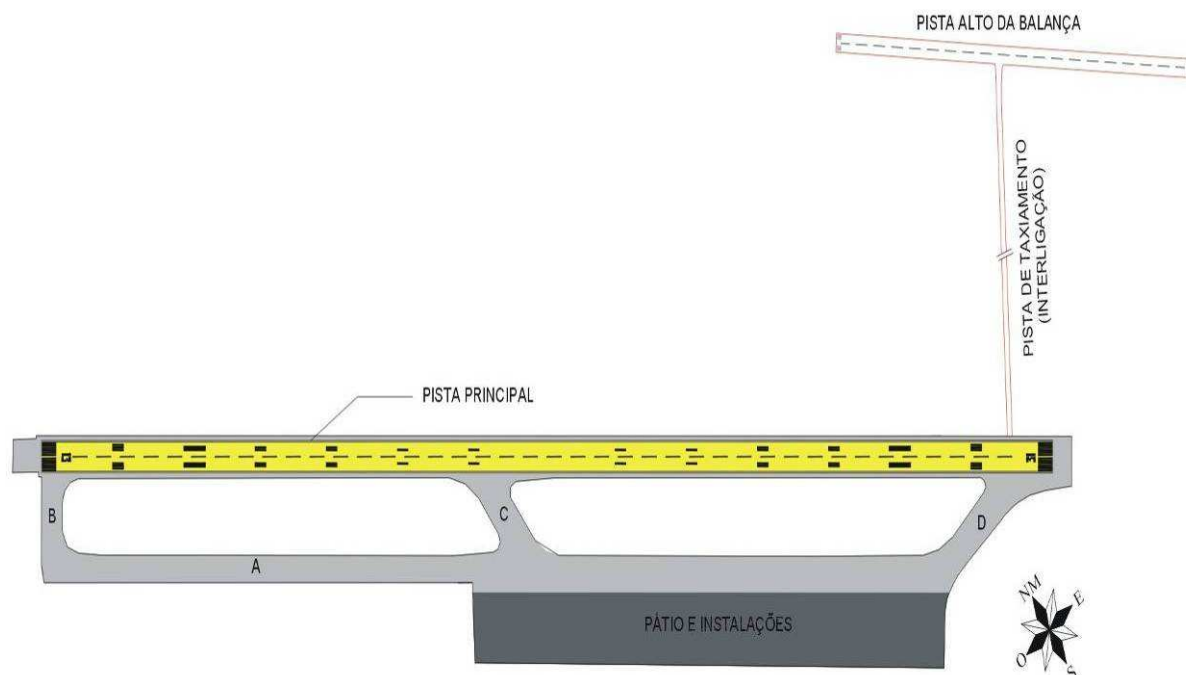
O sistema de pistas da Base do Cocorote, inaugurado em dezembro de 1943, conforme relato de OLIVEIRA e LAVÔR (2007), após seis meses do início de sua construção, possuía a configuração apresentada na Figura 3.2. As instalações, o pátio de estacionamento e as pistas de taxiamento das aeronaves – *taxiways* A (*Alfa*), B (*Bravo*), C (*Charlie*) e D (*Delta*) estavam localizados na região sul da área patrimonial.



**Figura 3.2** – Configuração inicial da Base do Cocorote.

Vale informar que as denominações das pistas de taxiamento, apresentadas na legenda da Figura 3.2, são designadas pelas letras do alfabeto na ordem de sua criação e obedecem a pronúncia estabelecida pelo Alfabeto Fonético Internacional, recomendado pela ICAO (2005) e amplamente empregado pelos usuários dos serviços aéreos em todo o mundo.

A localização da pista de pousos e de decolagens da Base do Cocorote foi estratégica, já que permitiu a sua interligação com a pista da Base do Alto da Balança. Em virtude de suas proximidades, cerca de 1.200 m, uma pista de taxiamento foi construída para admitir o tráfego de aeronaves entre as duas bases. Essa ligação era realizada conforme mostrado na Figura 3.3.



**Figura 3.3** – Interligação entre as Bases do Cocorote e do Alto da Balança.

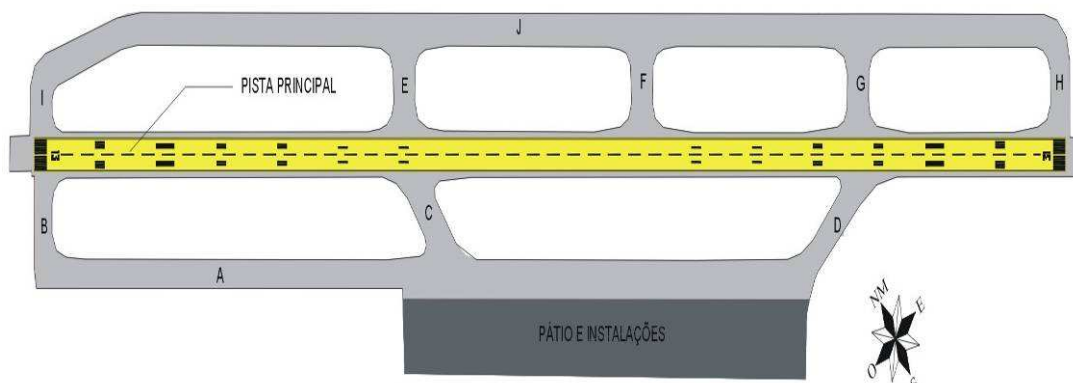
Em 1945, com o fim da Segunda Guerra Mundial, as instalações militares localizadas nas Bases do Pici e do Cocorote serviram como escolas de formação de pilotos de transportes e como bases aéreas de retorno das tripulações combatentes (OLIVEIRA e LAVÔR, 2007).

A Base do Cocorote, já então conhecida pela sociedade fortalezense como Aeroporto do Cocorote, passou, de acordo com SENADO FEDERAL (2007b), à denominação de Aeroporto Pinto Martins. Tal designação foi conservada por SENADO FEDERAL (2007c) que dispôs sobre a denominação dos aeroportos e aeródromos nacionais.

A escolha do nome, de acordo com informações de OLIVEIRA (1997), foi devida em homenagem ao piloto cearense, Euclides Pinto Martins (1892 – 1924), natural do município de Camocim, a 380 km da capital, que realizou o primeiro vôo entre *New York* e Rio de Janeiro a bordo de um hidroavião, entre setembro de 1922 e fevereiro de 1923.

A pista de pousos e de decolagens do Aeroporto Pinto Martins, sofreu inúmeras adequações ao longo dos anos. Em 1963, essa pista foi ampliada para 2.545 m, mantida sua largura, tendo essa mesma dimensão nos dias atuais. Em virtude disso, houve a

necessidade de construção de novas pistas de taxiamento – *taxiways* E (*Echo*), F (*Foxtrot*), G (*Golf*), H (*Hotel*), I (*India*) e J (*Juliatt*), passando à configuração mostrada na Figura 3.4.



**Figura 3.4** – Complexo de pistas do Aeroporto Pinto Martins, em 1963.

O primeiro terminal de passageiros, conforme mostra a Figura 3.5, foi construído em 1966, três anos após a ampliação da pista de pousos e de decolagens. Possuía cerca de 8.200 m<sup>2</sup> de área construída e capacidade para atendimento de 900 mil passageiros/ano, segundo OLIVEIRA e LAVÔR (2007). O projeto foi executado pela Diretoria de Engenharia da Aeronáutica – DIRENG.



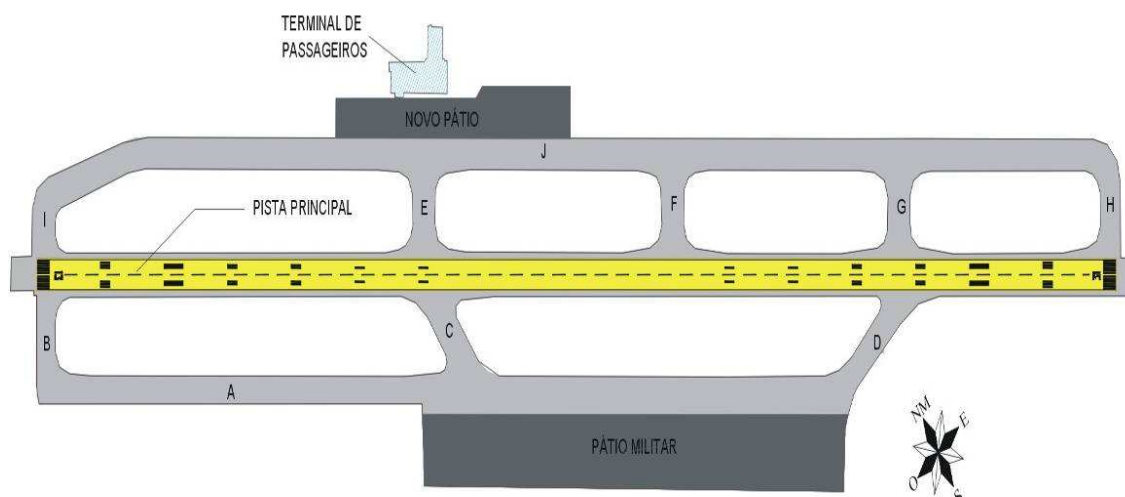
**Figura 3.5** – Primeiro terminal de passageiros do Aeroporto Pinto Martins, em 1966. OLIVEIRA e LAVÔR (2007).

Na mesma época, em conjunto com o projeto do novo terminal de passageiros, foi construído um novo pátio para estacionamento das aeronaves que possuía cerca de

350 m de comprimento por 90 m de largura que se estendia até a pista de taxiamento paralela (*taxiway Juliett*). Esse novo pátio, em pavimento rígido, possuía placas de concreto de aproximadamente 3,5 m por 6,0 m e condições estruturais para atender as operações de todas as aeronaves utilizadas na época.

Essas novas infraestruturas estavam localizadas na região norte da área patrimonial, lado oposto ao que vinha sendo utilizado pelo Aeroporto Pinto Martins. A área sul passou a ser utilizada para abrigar os esquadrões militares e os grupos de aviação da Força Aérea Brasileira – FAB, permanecendo até os dias atuais.

A disposição dos novos terminal de passageiros e pátio de estacionamento de aeronaves apresenta-se na Figura 3.6.



**Figura 3.6** – Complexo de pistas do Aeroporto Pinto Martins, em 1966.

Em 1972, segundo informações da DIRENG (1978), ocorreu a ampliação do pátio de estacionamento das aeronaves do Aeroporto Pinto Martins, que passou dos 350 m para cerca de 500 m de comprimento, mantendo-se a mesma largura.

Uma fotografia do final da década de 70, apresentada na Figura 3.7, mostra o sítio aeroportuário após essas reformas e construções do terminal de passageiros, pátios e sistema de pistas.



**Figura 3.7** – Vista aérea do Aeroporto de Fortaleza no final da década de 70. INFRAERO (2008d).

Em janeiro de 1974, de acordo com INFRAERO (2008c) o Aeroporto Pinto Martins, até então sob o comando militar do Ministério da Aeronáutica, passou à administração da recém-criada Empresa Brasileira de Infra-Estrutura Aeroportuária – INFRAERO, que procurou iniciar um processo de melhorias no terminal de passageiros e no pátio de estacionamento das aeronaves não somente em Fortaleza, mas em diversos aeroportos brasileiros sob sua responsabilidade.

As benfeitorias realizadas no Aeroporto Pinto Martins compreenderam climatização das salas de embarque e desembarque, reformas em áreas do saguão, reparos no pátio de estacionamento e no sistema de pistas, com o objetivo de proporcionar maior comodidade, operacionalidade e segurança aos seus usuários, além de preparar o aeroporto para o crescimento futuro do transporte aéreo nacional e internacional.

Em meados da década de 80, iniciaram-se estudos, por parte da DIRENG (1985), para realização de obras de reforço da pista de pousos e de decolagens do Aeroporto Pinto Martins.

Apesar do estado da superfície da pista de pousos e decolagens na época ter sido considerado bom, conforme levantamento da DIRENG (1978), o projeto previa o

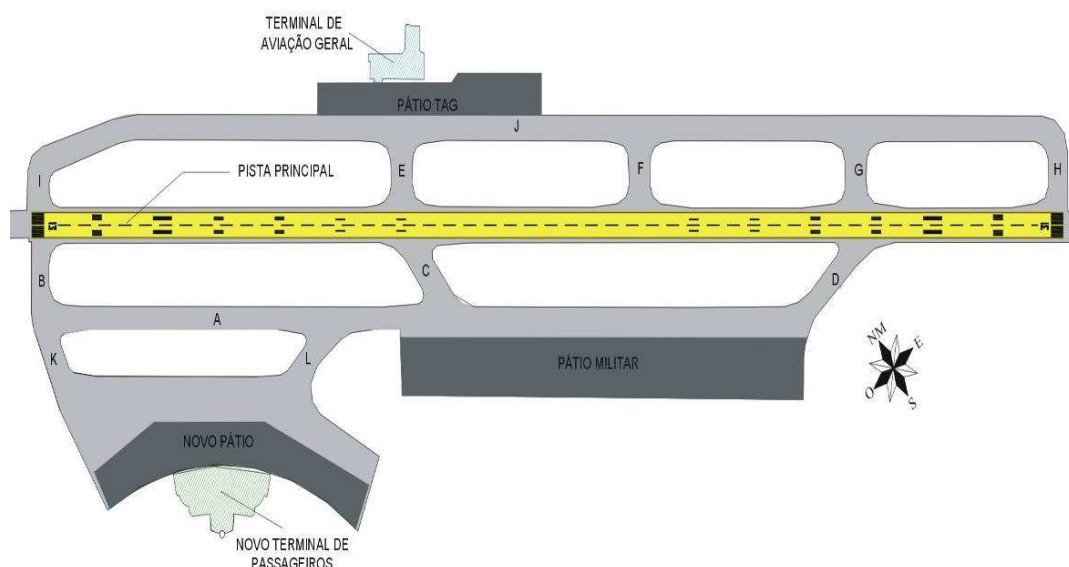
recapeamento de toda a extensão da pista, inclusive das cabeceiras de concreto. A espessura da camada de reforço da superfície da pista, no caso, uma simples regularização, foi fixada para o eixo, um valor de 5 cm, e para as bordas, um valor mínimo de 3,5 cm, executado em CBUQ (DIRENG, 1985).

Dessa forma, a pista de pouso e de decolagem do Aeroporto Pinto Martins teria a capacidade de suporte para atender ao tráfego previsto para um período de 20 anos, segundo a DIRENG (1985).

Em junho de 1997, o Aeroporto Pinto Martins obteve a classificação de internacional, de acordo com INFRAERO (2008c) e passou a designação de Aeroporto Internacional Pinto Martins que, doravante nesta pesquisa, será apresentado como Aeroporto Internacional de Fortaleza.

No ano anterior, iniciaram-se uma série de melhorias da infraestrutura com a construção de um novo terminal de passageiros, novos pátios de estacionamento e pistas de taxiamento de aeronaves – *taxiways* K (*Kilo*) e L (*Lima*), em um terreno do lado oposto ao que vinha sendo utilizado desde 1966.

O novo Aeroporto Internacional Pinto Martins foi inaugurado em 07 de fevereiro de 1998, possuindo o formato mostrado na Figura 3.8.



**Figura 3.8** – Aeroporto Internacional de Fortaleza, em 1998.



Uma fotografia aérea do complexo aeroportuário, em 1998, apresentada na Figura 3.9, mostra toda a infraestrutura do novo Aeroporto Internacional de Fortaleza.



**Figura 3.9** – Vista aérea do Aeroporto Internacional de Fortaleza, em 1998. INFRAERO (2008d).

### 3.2. A INFRAERO

Segundo dados da ANAC (2008a), o Brasil possui 2.498 aeródromos, sendo 1.759 privados e 739 públicos. Destes, 67 são administrados pela INFRAERO. Os restantes estão sob responsabilidade de Estados, de Municípios, de aeroclubes ou do Comando da Aeronáutica.

Constituída como Empresa Pública nos termos da Lei nº 5.862, de 12 de dezembro de 1972, dotada de personalidade jurídica de direito privado e vinculada ao Ministério da Aeronáutica (hoje Ministério da Defesa), a INFRAERO foi criada com a finalidade de implantar, administrar, operar e explorar industrial e comercialmente a infraestrutura aeroportuária e de apoio à navegação aérea.

Atualmente presente em todos os Estados Brasileiros, a INFRAERO além dos 35 aeroportos nacionais e 32 internacionais, controla 80 estações de apoio à navegação

aérea e 32 terminais de logística de carga. O quadro funcional é de aproximadamente 28.700 profissionais, entre orgânicos e contratados (INFRAERO, 2007a).

Apesar de controlar menos de 10% dos aeroportos públicos brasileiros, em 2007, passaram pelos aeroportos da rede INFRAERO cerca de 110,6 milhões de passageiros e um movimento de pousos e de decolagens que ultrapassou 2,0 milhões, de acordo com INFRAERO (2008b), representando cerca de 97% do movimento nacional, de acordo com informações da ANAC (2008a).

Em 2002, esses números correspondiam a 74,9 milhões de passageiros e 2,07 milhões de movimentos de aeronaves, entre pousos e decolagens, domésticos e internacionais (INFRAERO, 2007a).

O controle gerencial é realizado pela Presidência e por cinco Diretorias: Administrativa, Comercial, Financeira, Operações e Engenharia. Todas centralizadas na Sede da Empresa, em Brasília, Distrito Federal, com apoio de oito Superintendências Regionais, que regulam e apóiam as Superintendências Locais, em cada aeroporto. As Superintendências Regionais e Locais estão distribuídas pelo país, conforme o mapa da Figura 3.10.

A Superintendência do Aeroporto Internacional de Fortaleza está subordinada à Superintendência Regional do Nordeste, localizada em Recife, Pernambuco.



**Figura 3.10 – Mapa de distribuição dos aeroportos da rede INFRADERO.**  
 INFRADERO (2007a).

Como Empresa Pública presente em todo o país, a INFRADERO assume seu compromisso com a sociedade civil ao guiar suas ações para a responsabilidade social. Assim, vem implementando atividades educativas, sociais, culturais e desportivas junto aos seus funcionários e aos moradores do entorno dos aeroportos.

Ainda de encontro à necessidade de manter a infraestrutura aeroportuária adequada ao crescimento da demanda pelo transporte aéreo, a INFRADERO foi incluída

nas obras de ampliação e modernização dos principais aeroportos do país através do Programa de Aceleração do Crescimento – PAC. A ação está possibilitando a realização de importantes investimentos voltados ao aumento da capacidade instalada, à melhoria da segurança e da qualidade dos serviços prestados aos clientes e usuários dos serviços aeroportuários (INFRAERO, 2007a).

A fim de garantir a operacionalidade e a segurança compatível com as necessidades do país, segundo a INFRAERO (2007a), os investimentos foram direcionados aos aeroportos com maior grau de comprometimento da capacidade de tráfego de aeronaves, passageiros e carga, bem como àqueles de interesse estratégico do Governo Federal.

A INFRAERO está presente no Estado do Ceará através da administração direta do Aeroporto Internacional Pinto Martins, em Fortaleza, e na administração compartilhada do Aeroporto Regional do Cariri, em Juazeiro do Norte, sul do Estado, em conjunto com o Departamento de Edificações e Rodovias – DER.

O DER é um órgão ligado à Secretaria de Infra-Estrutura do Governo do Estado e até dezembro de 2007 era denominado Departamento de Edificações, Rodovias e Transportes – DERT, com atuações no gerenciamento de aeroportos, rodovias, transportes metropolitanos e intermunicipais de passageiros rodoviários, além de construção e manutenção das edificações a cargo do Governo do Estado do Ceará. Após a mudança, o DER transferiu as atividades ligadas aos transportes metropolitanos e intermunicipais de passageiros para o Departamento Estadual de Trânsito – DETRAN, ficando apenas com a infraestrutura rodoviária, a aeroportuária e as edificações.

De acordo com o DER (2008), dos 70 aeroportos públicos existentes no Estado do Ceará, conforme mostrado na Figura 3.11, estão sob responsabilidade direta do órgão sete aeroportos nos municípios de Aracati, Crateús, Camocim, Campos Sales, Iguatu, Quixadá e Sobral. Os demais são administrados pelas respectivas prefeituras.

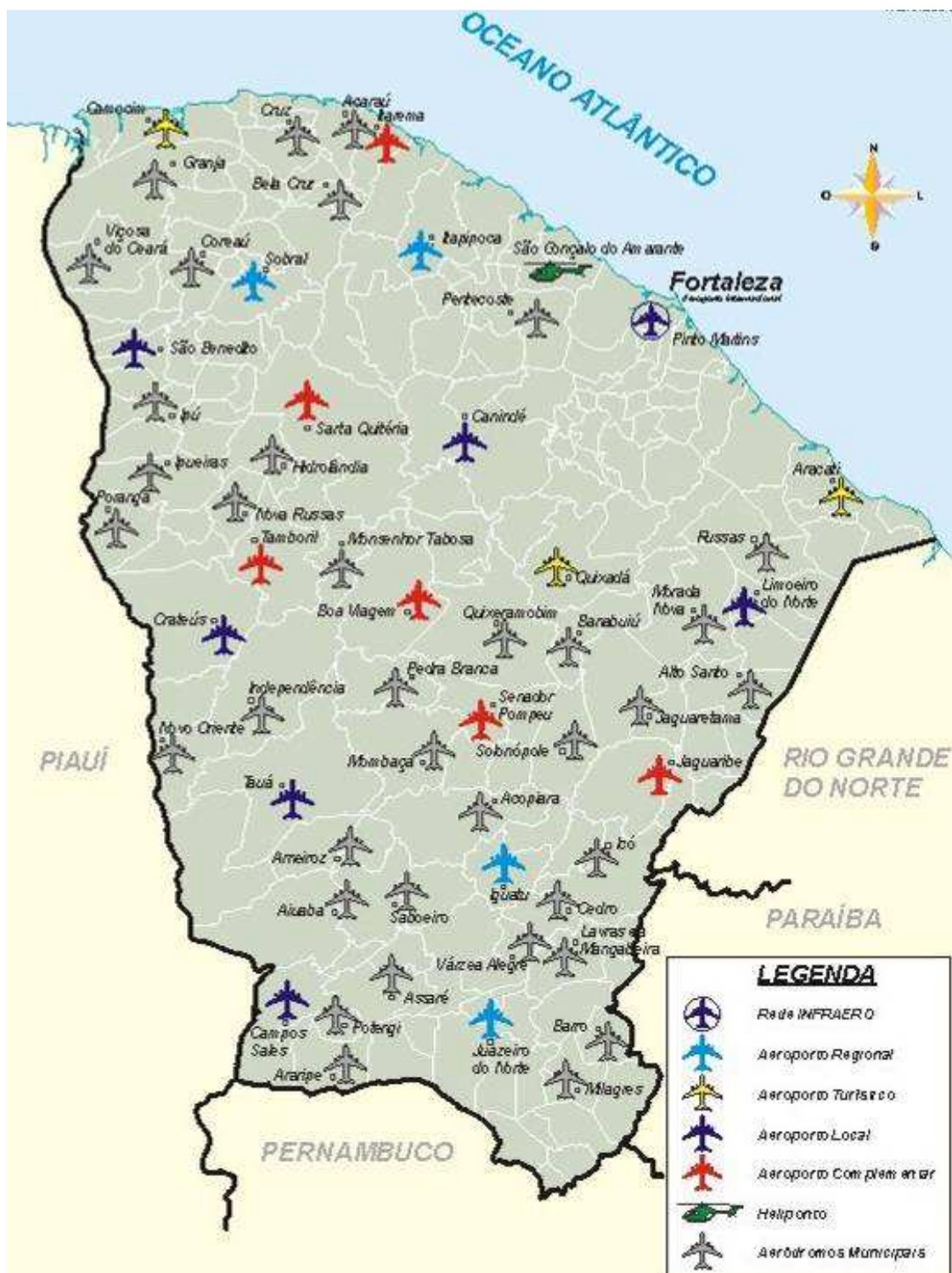


Figura 3.11 – Mapa de distribuição dos aeroportos no Estado do Ceará. DER (2008).

### **3.3. A OPERACIONALIDADE DO AEROPORTO INTERNACIONAL DE FORTALEZA**

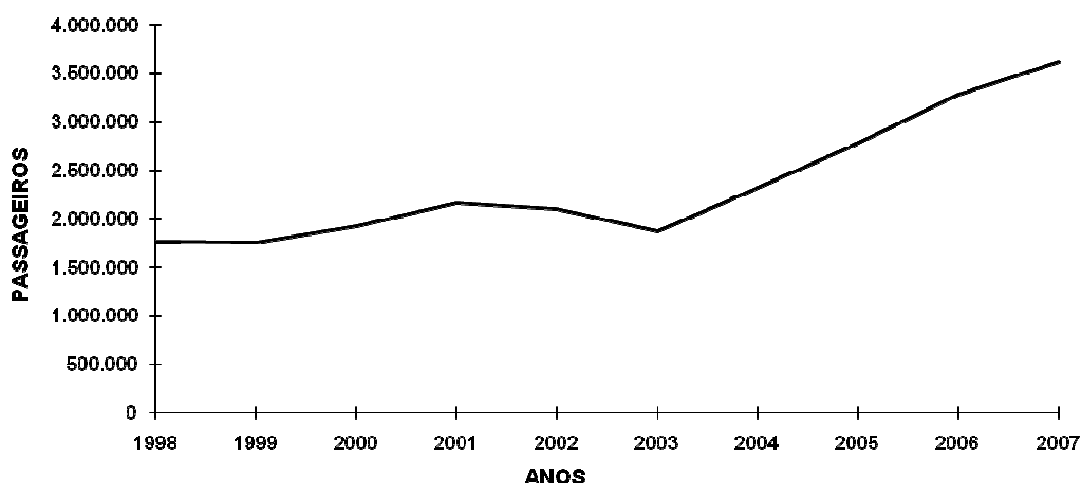
O Aeroporto Internacional de Fortaleza vem ao longo dos anos se destacando como um importante equipamento urbano para o Estado do Ceará. Sua funcional infraestrutura, comparada aos modernos aeroportos mundiais, tem garantido a integração do Estado com as mais diversas sociedades, economias e culturas ao redor do mundo.

Desde sua inauguração, em fevereiro de 1998, o Aeroporto Internacional de Fortaleza tem sido portão de entrada e de saída, e cartão de visitas para turistas de todas as partes do Brasil e do mundo. Isso em virtude da Secretaria de Turismo do Estado do Ceará – SETUR ter direcionado seus esforços para a promoção do turismo internacional, nacional e regional, apresentado o Ceará como a “Terra do Sol”, através de ações como o Programa de Ação para o Desenvolvimento do Turismo no Nordeste – PRODETUR.

A INFRAERO, através da Superintendência do Aeroporto Internacional de Fortaleza tem apoiado a política de desenvolvimento do turismo promovido pela SETUR à medida que procura gerenciar toda a infraestrutura aeroportuária de forma racional, dentro de padrões e normas internacionais de atendimento aos seus usuários.

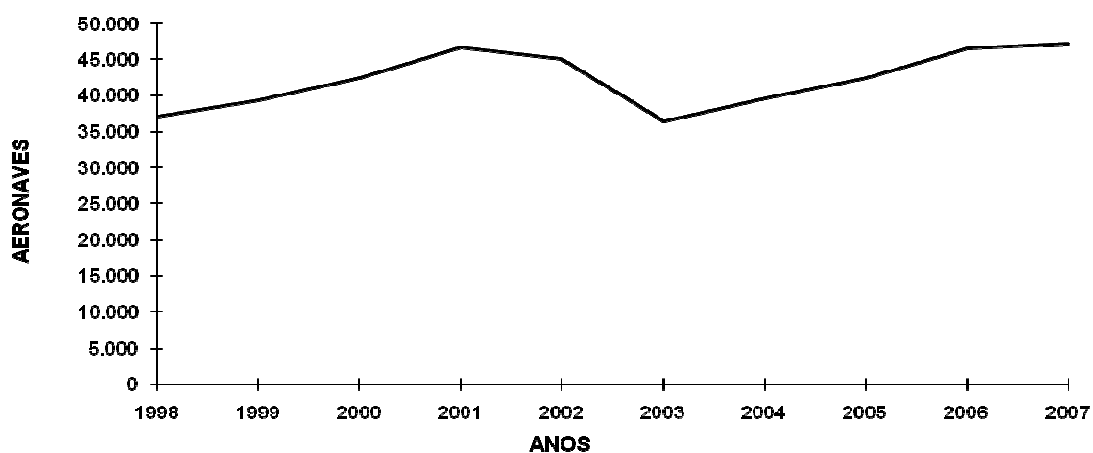
Nesse impulso, projetado para atender 2,5 milhões de passageiros/ano, o novo terminal de passageiros do Aeroporto Internacional Pinto Martins atingiu em 2007, segundo a INFRAERO (2008a), a marca de 3,6 milhões de passageiros embarcados e desembarcados, dentre domésticos e internacionais. Em virtude disso, foi classificado como o 10º aeroporto em movimento da rede INFRAERO e o 3º do Nordeste, sendo ultrapassado por Salvador e Recife, que registraram, respectivamente, 5,9 milhões e 4,2 milhões de passageiros no mesmo período.

Em 1998, ano de sua inauguração, o número de passageiros/ano era de cerca de 1,7 milhões, conforme pode se observar pelo gráfico da Figura 3.12. Um aumento de mais de 100% em apenas nove anos de operação foi registrado.



**Figura 3.12** – Movimento de passageiros entre 1998 a 2007 no Aeroporto Internacional de Fortaleza. INFRAERO (2008a).

No que diz respeito aos pousos e as decolagens em 2007, de acordo com a INFRAERO (2008a), foram contabilizadas cerca de 47,3 mil movimentações domésticas e internacionais. Em 1998, essa movimentação foi de 37,2 mil operações. O gráfico da Figura 3.13 apresenta a evolução dessa movimentação das operações de pousos e decolagens desde 1997. Em nove anos, ocorreu um incremento de aproximadamente 27%.



**Figura 3.13** – Movimento de aeronaves entre 1998 a 2007 no Aeroporto Internacional de Fortaleza. INFRAERO (2008a).

Entre os anos de 2001 a 2003 ocorreu um decréscimo do número geral de movimentação de passageiros e aeronaves, ocasionado, dentre outras questões, pela

falência de algumas empresas aéreas nacionais, com destaque para a Transbrasil, e o início de problemas relacionados à Vasp. Esse decréscimo também foi sentido nos demais aeroportos brasileiros.

Além disso, os atentados terroristas de 11 de setembro de 2001 contra as Torres Gêmeas, nos Estados Unidos, alteraram a operacionalidade, a segurança e a facilitação da aviação civil internacional. A partir desses fatídicos acontecimentos, as autoridades aeroportuárias e aeronáuticas, assim como as empresas aéreas, seguindo determinações emanadas da ICAO passaram a adotar medidas adicionais de segurança nos seus aeroportos e aeronaves. Tudo isso para proteger seus usuários e patrimônios contra a reincidência de outros ataques daquela natureza.

A partir de 2003, o crescimento foi influenciado pelo surgimento de empresas aéreas com novo sistema de negócio e operação, do tipo baixo custo, baixa tarifa - *low cost, low fare*, a exemplo da Gol Linhas Aéreas, dentre outras. Da mesma forma, o governo federal, através do Ministério do Turismo, assim como, os governos estaduais e municipais, por meio das suas Secretarias de Turismo, estimularam o desenvolvimento de programas destinados ao turismo nacional e internacional.

### **3.4. A INFRAESTRUTURA DO AEROPORTO INTERNACIONAL DE FORTALEZA**

A demanda de passageiros, aeronaves e usuários do Aeroporto Internacional de Fortaleza é atendida por um complexo de instalações e de facilidades.

Dentre esses, está o terminal de passageiros com 38.500 m<sup>2</sup>, distribuídos em quatro pavimentos, conforme apresentado na Figura 3.14. Esse terminal é quase cinco vezes maior que o antigo terminal, que possuía cerca de 8.200 m<sup>2</sup> e apenas dois pavimentos. Hoje, o antigo terminal denomina-se Terminal de Aviação Geral – TAG, e atende aeronaves da aviação executiva, além de helicópteros.





**Figura 3.14** – Vista aérea do Terminal de Passageiros. INFRAERO (2008d).

Ainda fazem parte do terminal de passageiros, 32 balcões de atendimento para despacho de bagagens de passageiros – *check-in*, uma sala de embarque de cerca de 2.700 m<sup>2</sup>, conforme ilustra a Figura 3.15, sete pontes de embarque/desembarque, dez elevadores e oito escadas rolantes, duas delas localizadas no saguão central, mostradas na Figura 3.16.



**Figura 3.15** – *Check-in* e da sala de embarque. INFRAERO (2008d).



**Figura 3.16** – Escadas rolantes do saguão central. INFRAERO (2008d).

Além dos equipamentos e das facilidades apresentados, o aeroporto possui um pátio para estacionamento e operações das aeronaves – Pátio 2, dotadas de pavimento rígido, medindo 52.990 m<sup>2</sup> de área, com 14 posições para aeronaves de pequeno, médio e grande porte, conforme a Figura 3.17. Inclui-se a aeronave crítica que opera atualmente no aeroporto: o Boeing 747-400, com capacidade de 450 passageiros e peso máximo para decolagem de 396 toneladas (INFRAERO, 2008c).



**Figura 3.17** – Vista aérea do terminal de passageiros e pátio. INFRAERO (2008d).

O pátio do antigo terminal de passageiros – Pátio 1, o Terminal de Aviação Geral – TAG, possui cerca de 36 mil m<sup>2</sup>, 29 posições de estacionamento, três posições para helicópteros, além de oito hangares, conforme apresentado na Figura 3.18.



**Figura 3.18** – Vista aérea do Terminal de Aviação Geral. Google Earth (2008).

Além desses pátios, encontra-se em processo de construção um novo pátio de estacionamento de aeronaves – Pátio 3, a ser utilizado pelo Terminal de Logística de Carga – TECA, no lado leste do atual terminal de passageiros. Esse local é o mesmo ocupado durante o período da Segunda Guerra Mundial pelo Aeroporto do Cocorote.

Atualmente, não existe no Aeroporto Internacional de Fortaleza, um pátio exclusivo para o atendimento de aeronaves cargueiras, como existe em outros aeroportos da rede INFRAERO. Esse novo pátio possuirá cerca de 45.000 m<sup>2</sup> de área, para a operação simultânea de sete aeronaves de grande porte.

Quanto ao complexo de pistas, o Aeroporto Internacional de Fortaleza possui uma pista de pousos e de decolagens, a mesma pista da época da inauguração em 1943 com suas respectivas expansões e alterações, medindo 2.545 m de comprimento por 45 m de largura.

De acordo com parâmetros estabelecidos pela ICAO (2004), essa pista de pousos e de decolagens permite a classificação do aeródromo com o código de referência denominado 4E. Isso porque possui um comprimento maior que 1.800 m e capacidade para atendimento de aeronaves com envergadura – distância entre as pontas das asas – até 64,99 m ou distância entre as bordas externas dos pneus do trem-de-pouso principal até 14 m, como é o caso do Boeing 747-400, cuja envergadura é de 64,4 m.

Além disso, possui 12 pistas de taxiamento de aeronaves, todas dotadas de pavimento asfáltico, conforme mostra a Figura 3.19.



Figura 3.19 – Vista aérea do sistema de pátios e pistas. Google Earth (2008).

As pistas de pousos e de decolagens de aeroportos, em qualquer lugar do mundo, de acordo com INFRAERO (2008c), são nomeadas pela direção de suas cabeceiras em relação ao norte magnético em que elas apontam, em graus, arredondado para o múltiplo de 10 mais próximo, e excluindo-se o zero posteriormente. Ainda incluem-se letras, à direita do número conforme a posição, quando o aeroporto dispõe de pistas paralelas: L (*left* - esquerda), C (*central* - centro) e R (*right* - direita). Por serem exatamente opostas entre si ( $180^\circ$ ), o número da cabeceira oposta pode ser encontrado pela adição ou subtração de 18, nunca ultrapassando 36.

Nessas condições, uma das cabeceiras da pista de pousos e de decolagens do Aeroporto Internacional de Fortaleza é denominada 13, considerando o azimute magnético de uma das suas cabeceiras no valor de  $126^\circ34'26''$  (arredonda-se, conforme explicação do parágrafo anterior, para 130, e por fim, para 13). O número da outra cabeceira é encontrado pela adição de 18, ou seja,  $13 + 18 = 31$ . Como existe apenas uma única pista de pouso e de decolagens, não há designação de letras indicativas de posicionamento.

Dessa forma, as cabeceiras do Aeroporto Internacional de Fortaleza são designadas 13 e 31 e, por consequência, a pista de pousos e decolagens denominada tecnicamente, conforme recomendação da ICAO (2004), por RWY13/31, sendo RWY a abreviatura de *Runway*.

A responsabilidade pelo gerenciamento dos pavimentos que compõem os pátios e as pistas do Aeroporto Internacional de Fortaleza é da Coordenação de Manutenção em conjunto com a Gerência de Operações. Ambas as áreas têm o suporte das Gerências de Manutenção e de Operações da Superintendência Regional do Nordeste, que por sua vez, atende as determinações das Diretorias de Engenharia e de Operações.

Uma descrição técnica mais detalhada acerca desses pavimentos será apresentada em capítulos posteriores desta pesquisa. Contudo, pode-se afirmar, preliminarmente, que a maioria deles encontra-se com boa capacidade de suporte e superfície com adequado rolamento. Exceção feita a alguns pequenos segmentos que apresentam defeitos, especialmente trincas, desgastes e impregnação de borracha

proveniente dos pneus das aeronaves, facilmente detectados em uma rápida inspeção visual.

Dentre esses trechos, e que será o objeto de estudo desta pesquisa, está o primeiro terço da pista de pousos e de decolagens. Tal segmento corresponde à região da faixa de toque das aeronaves durante os procedimentos de pouso no Aeroporto Internacional de Fortaleza, considerando que cerca de 97% das operações ocorrem pela cabeceira 13 (INFRAERO, 2008a).

A faixa considerada não-conforme do ponto de vista funcional tem início a cerca de 280 m da cabeceira 13 e aproximadamente 8.000 m<sup>2</sup> de área (sendo 500m de comprimento por 16m de largura, 8 m para cada lado a partir do eixo). Possui uma cor diferenciada do restante da superfície do pavimento, conforme se verifica na Figura 3.20, em decorrência de serviços de recuperação do revestimento asfáltico ocorridos em 2004 e, além disso, pelo acúmulo de borracha proveniente dos pneus das aeronaves por ocasião do impacto com a superfície do pavimento.



**Figura 3.20** – Vista aérea da faixa de pista não-conforme. INFRAERO (2008d).

Ressalte-se que esse é o local onde se concentram as maiores operações da pista de pousos e de decolagens e que merece uma especial atenção por parte dos seus responsáveis, uma vez que o colapso da mencionada infraestrutura tornaria inviáveis quaisquer operações de pouso ou de decolagem no Aeroporto Internacional de Fortaleza.

### **3.5. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Através de um histórico da origem do Aeroporto Internacional de Fortaleza, da sua administração por parte da INFRAERO, da sua operacionalidade, bem como da infraestrutura que o compõe, foi possível justificar a escolha da área para o estudo de caso proposta nesta pesquisa.

A partir dessa exposição e de outras que serão mostradas posteriormente nesta pesquisa, será possível apresentar no próximo capítulo algumas considerações sobre as condições estruturais e de superfície da pista de pousos e de decolagens do referido aeroporto, especificamente no que diz respeito à textura superficial e ao atrito.

## CAPÍTULO 4

# CONDIÇÕES ESTRUTURAIS DOS PAVIMENTOS AEROPORTUÁRIOS

Uma breve análise das condições da estrutura dos pavimentos aeroportuários, com foco para a pista de pousos e de decolagens do Aeroporto Internacional de Fortaleza, será descrita neste capítulo como forma de complemento das informações apresentadas até então nesta pesquisa.

### 4.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Como já afirmado em capítulos anteriores, os pavimentos aeroportuários devem proporcionar aos seus usuários um nível de serviço elevado através de condições operacionais, de segurança e de qualidade necessários, de tal forma que não sejam fatores contribuintes para a ocorrência de acidentes e/ou incidentes com aeronaves. Dessa forma, torna-se importante a abordagem sobre a sua condição estrutural.

Apesar de esta pesquisa ser destinada à proposição de estratégias de manutenção com base em parâmetros da superfície dos pavimentos aeroportuários, o estudo das características estruturais desses pavimentos constitui-se um importante elemento complementar das informações anteriormente prestadas.

Nos itens seguintes, procurar-se-á descrever a estrutura dos pavimentos aeroportuários, o seu processo de dimensionamento, bem como as avaliações das suas condições, através de estudos realizados e dados obtidos em épocas passadas pela DIRENG e INFRAERO especificamente para o Aeroporto Internacional de Fortaleza.

Da mesma forma, será descrito o processo de notificação da resistência através da descrição da metodologia do Número de Classificação de Aeronaves (*Aircraft Classification Number* – ACN) e do Número de Classificação de Pavimento (*Pavement Classification Number* – PCN), conhecido como Método ACN/PCN.



## 4.2. CARACTERÍSTICAS ESTRUTURAIS

É evidente que existem diferenças expressivas entre as características dos pavimentos aeroportuários e rodoviários, haja vista possuírem utilizações distintas. Nos aeroportos, em contraposição ao que ocorre nas rodovias, um número menor de solicitações com cargas atuantes mais pesadas é verificado.

YODER e WITCZAK (1975), além de MEDINA e MOTTA (2005), mostram essas diferenças das pistas e dos veículos em rodovias e aeroportos, principalmente com relação às características geométricas, cargas, frequência de repetições e distribuição nas pistas, pressão dos pneumáticos, ação de frenagem, dentre outras.

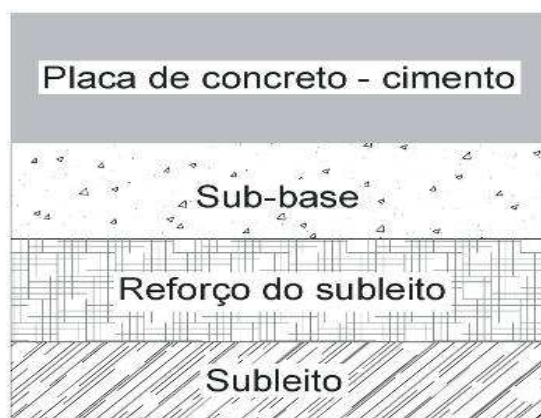
Os pavimentos aeroportuários devem possuir, na opinião de ARGUE (2005), as seguintes características de qualidade operacional:

- a) resistência estrutural: capacidade de suportar as cargas do tráfego. Essa característica deve ser analisada com bastante critério durante a concepção do projeto;
- b) resistência à derrapagem: níveis de atrito e de textura superficial – microtextura e macrotextura, necessários para proporcionar uma adequada frenagem e controle direcional das aeronaves;
- c) condição de rolamento: efeito da irregularidade no conforto e na segurança dos usuários. Essa qualidade é de particular importância em pistas de pousos e de decolagens, especialmente em aeroportos onde operam aeronaves de grande porte, devido às altas velocidades desenvolvidas durante suas manobras e procedimentos; e,
- d) integridade estrutural: inexistência de defeitos que possam ocasionar danos às aeronaves. Para esse fato, deve-se atentar para o ciclo de vida e para os materiais propostos para o pavimento no projeto.

Além dessas, GLUSHKOV *et al.* (1988) asseguram que os pavimentos aeroportuários precisam ter a capacidade de combater os fatores climáticos adversos, ser impermeável o suficiente para prevenir infiltração nas camadas subjacentes, resistir às erosões ocasionadas pelos jatos das turbinas – *jet-blast* e permitir uma fácil manutenção ou reparo.

Quanto à classificação, assim como ocorre para os pavimentos rodoviários, de uma forma geral, os aeroportuários também podem ser divididos em dois tipos distintos: rígidos e flexíveis. Contudo, HUANG (1993) e ARGUE (2005) afirmam que podem existir combinações entre esses tipos.

Os pavimentos rígidos são formados, em sua grande maioria, por placas de concreto-cimento com dimensões e especificações que variam com a sua destinação. Comumente, segundo BERNUCCI *et al.* (2007), essas placas estão apoiadas sobre uma camada de material granular ou estabilizado com cimento, compondo a sub-base, assentada sobre o subleito ou sobre um reforço do subleito caso seja necessário, conforme se apresenta na Figura 4.1.



**Figura 4.1** – Esquema estrutural de um pavimento rígido.

A natureza do concreto-cimento, ou concreto hidráulico conforme definição da DGAC (2007), faz com que a rigidez das placas, que constituem a parte superior do pavimento, proteja o subleito das solicitações mecânicas. De acordo com PINTO e PREUSSLER (2002), a elevada rigidez das placas de concreto-cimento, em relação às camadas inferiores, permite que o revestimento desse tipo de pavimento absorva praticamente todas as tensões provenientes do carregamento aplicado.

Para ASHFORD e WRIGHT (1992), os pavimentos rígidos podem possuir placas de concreto do tipo armado ou protendido com a finalidade de controlar e minimizar os efeitos danosos de trincas e promover uma transferência do carregamento entre as placas. As imagens da Figura 4.2 mostram exemplos de placas de concreto armado aplicados no pavimento rígido do pátio do novo Terminal de Logística de Cargas – TECA do Aeroporto Internacional de Fortaleza – Pátio 3.



**Figura 4.2** – Placas de concreto armado do Pátio 3.

Apesar das considerações de WELLS e YOUNG (2004) quanto ao uso de pavimentos rígidos em pistas de pousos e de decolagens dos grandes aeroportos e bases aéreas militares dos Estados Unidos, na maior parte dos aeroportos brasileiros, a exemplo do Aeroporto Internacional de Fortaleza, os pavimentos rígidos são bastante utilizados em áreas do pátio de manobras e estacionamento de aeronaves, de veículos de serviço e equipamentos de apoio às aeronaves no solo, mostradas na Figura 4.3.



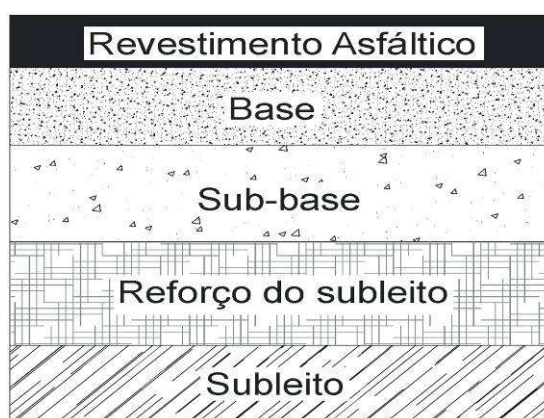
**Figura 4.3** – Pavimento rígido em áreas do Aeroporto Internacional de Fortaleza.

Para FONSECA (1990) são nessas áreas que ocorrem os serviços de reabastecimento e manutenção de aeronaves e equipamentos diversos, sendo, portanto, indicado o uso de pavimentos rígidos devido à maior resistência química do concreto-cimento aos combustíveis, óleos e lubrificantes que, porventura, venham a ser derramados sobre a superfície desses pavimentos.

No Brasil, somente alguns aeroportos possuem pavimentos rígidos nas suas pistas de pousos e de decolagens, a exemplo de uma das pistas do Aeroporto

Internacional do Galeão/RJ, Aeroportos de Campina Grande, de Florianópolis e de Pelotas e Aeroporto Internacional de Campo Grande (INFRAERO, 2008e).

Por sua vez, os pavimentos flexíveis são compostos por um revestimento asfáltico, formado por material betuminoso, apoiado sobre camadas constituintes de solos ou misturas de solos e materiais granulares compondo sua base, sub-base e, quando necessário, o reforço do subleito, conforme se verifica na Figura 4.4.



**Figura 4.4** – Esquema estrutural de um pavimento flexível.

Nesse tipo de pavimento, para PINTO e PREUSSLER (2002), todas as camadas constituintes sofrem uma deformação elástica significativa em virtude do carregamento aplicado, fazendo com que a carga se distribua de forma equivalente entre as camadas.

A aplicação dos pavimentos flexíveis em aeroportos brasileiros é verificada nas pistas de pousos e de decolagens, de taxiamento de aeronaves e nas vias internas de serviço destinadas à circulação dos veículos e equipamentos de apoio às aeronaves no solo, conforme ilustra a Figura 4.5, em áreas do Aeroporto Internacional de Fortaleza.



**Figura 4.5** – Pavimento flexível em áreas do Aeroporto Internacional de Fortaleza.

De uma maneira geral, no Aeroporto Internacional de Fortaleza, os dois tipos de pavimentos são distribuídos nas áreas operacionais, ou seja, aquelas destinadas ao atendimento das aeronaves e suas atividades principais, tais como embarque, desembarque, carregamento, abastecimento e manutenção, conforme a Tabela 4.1, cujas informações foram reunidas e organizadas para efeito desta pesquisa.

**Tabela 4.1** – Distribuição dos pavimentos no Aeroporto Internacional de Fortaleza.

Tipo	Localização	Facilidade	Características
R Í G I D O	Terminal de Aviação Geral - TAG	Pátio de manobras e estacionamento de aeronaves – Pátio 1, e via de serviço	Área: 36.720 m <sup>2</sup> Placas de concreto armado: 6,0 m x 3,5 m (em média)
	Terminal de Passageiros - TPS	Pátio de manobras e estacionamento de aeronaves – Pátio 2	Área: 52.990 m <sup>2</sup> Placas de concreto armado: 5,0 m x 3,5 m (em média)
		Estacionamento de veículos de serviço e de equipamentos de apoio	Área: 5.700 m <sup>2</sup> Placas de concreto armado: 5,0 m x 3,5 m (em média)
	Novo Terminal de Logística de Cargas	Pátio de manobras e estacionamento de aeronaves – Pátio 3, e via de serviço	Área: 46.000 m <sup>2</sup> Placas de concreto armado: 5,0 m x 4,0 m (em média)
F L E X Í V E L	Terminal de Passageiros	Pista de pousos e de decolagens – <i>Runway</i> (RWY 13/31)	Extensão: 2.545 m Largura útil: 45 m Largura total: 60 m
		Pistas de taxiamento – <i>Taxiway</i> (TWY)	<i>Alfa</i> : 1.800 m x 22 m <i>Bravo</i> : 79 m x 24 m <i>Charlie</i> : 77 m x 33 m <i>Delta</i> : 138 m x 17 m <i>Echo</i> : 135 m x 32 m <i>Foxtrot</i> : 135 m x 32 m <i>Golf</i> : 135 m x 32 m <i>Hotel</i> : 131 m x 26 m <i>India</i> : 79 m x 32 m <i>Juliatt</i> : 2.248 m x 22 m <i>Kilo</i> : 79 m x 24 m <i>Lima</i> : 98 m x 30 m
		Via de serviço	Comprimento: 640 m Largura: 13 m
		Área de Manobras	Área: 77.281 m <sup>2</sup>

Ainda quanto aos dois tipos principais de pavimentos utilizados em aeroportos, FONSECA (1990) apresenta, através da Tabela 4.2, algumas características gerais que se destinam a auxiliar os tomadores de decisão no processo de conservação e de restauração.

**Tabela 4.2 – Características gerais dos pavimentos aeroportuários.**

Propriedade	Tipo de pavimento	
	Rígido	Flexível
Custo Inicial	Elevado	Baixo
Vida Útil	Maior	Menor
Custo de Manutenção	Menores	Maiores
Composição do elemento estrutural principal (revestimento)	Placas de Concreto	Concreto-Asfáltico e diversas camadas de apoio
Composição das camadas subjacentes ao revestimento	Podem-se utilizar materiais de baixo custo	Utilizam-se materiais selecionados

Fonte: FONSECA (1990) – Adaptado.

Em complemento às informações prestadas pela Tabela 4.2, quanto à vida útil, os pavimentos rígidos podem ser utilizados por um período de 20 a 40 anos, enquanto que os flexíveis duram entre 15 e 20 anos, desde que possuam uma adequada manutenção (WELLS e YOUNG, 2004).

De acordo com DEMPSEY (1999), a escolha do tipo de pavimento a ser aplicado nos aeroportos ocorre em virtude das características físicas de cada material e dos sinais visuais dados aos pilotos das aeronaves, ou seja: zonas escuras, em virtude dos materiais constituintes dos pavimentos flexíveis, são destinadas às áreas de movimento, e, zonas claras, proveniente dos pavimentos rígidos, em áreas de estacionamento.

Sabe-se que a função primordial de qualquer pavimento, seja aeroportuário ou rodoviário, é resistir às cargas que atuam sobre a superfície da estrutura, no sentido de evitar o seu colapso parcial ou total.

Para HORONJEFF (1966), os pavimentos precisam distribuir as cargas concentradas de modo tal que a capacidade de carga das camadas subjacentes, geralmente definida em função da deformação plástica máxima durante a vida útil do pavimento, não seja excedida.

Então, para que se tenha um pavimento com uma estrutura capaz de suportar as cargas atuantes durante sua vida útil sem apresentar maiores problemas, é necessário que ele seja construído com materiais selecionados e processos construtivos de efetiva qualidade, associados às práticas de conservação e manutenção preventivas. Porém, nada disso faz sentido se não houver um dimensionamento adequado, utilizando-se uma metodologia apropriada, definidos durante a fase de projeto.

O dimensionamento de um pavimento, para RODRIGUES (1999a), varia de acordo com sua funcionalidade no aeroporto, principalmente quando se trata das pistas de pousos e de decolagens e de taxiamento. Isso porque a interação entre o pavimento e a aeronave não deve proporcionar desconforto aos passageiros ou problemas à operação das aeronaves. Outro fator a considerar, especificamente nas pistas de pousos e de decolagens, diz respeito às áreas de toque das aeronaves devido ao problema de acúmulo de borracha na superfície por reduzir os níveis de atrito.

Um grande número de métodos tem sido proposto para o dimensionamento estrutural dos pavimentos aeroportuários e muitos deles são extensões dos métodos empregados nos projetos de pavimentos rodoviários (ASHFORD e WRIGHT, 1992).

HORONJEFF (1966) apresentou em sua obra, o método de dimensionamento baseado no Índice de Suporte Califórnia – CBR, o método canadense para pavimentos flexíveis, colocados em prática a partir de estudos realizados nos principais aeroportos daquele país, e o método da Marinha dos Estados Unidos, também para pavimentos flexíveis. Este fundamentado no método teórico desenvolvido por BURMISTER (1943) numa aplicação da Teoria da Elasticidade, para o qual eram requeridos os módulos de elasticidade do pavimento e do subleito, sendo a capacidade de carga do pavimento baseada no recalque provocado pela carga móvel.

Para a INFRAERO (2005), existem, pelo menos, quatro métodos de dimensionamento, todos baseados em experiências americanas. Esses métodos produzem espessuras projetadas ligeiramente diferentes, devido às diferentes pressuposições básicas, específicas de cada método. Os métodos são: da análise elástica das camadas, do Instituto de Asfalto, da Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP e da *Federal Aviation Administration* – FAA. Este último será apresentado com mais detalhe nesta pesquisa.

O Método da FAA (1995a) teve a sua primeira versão apresentada em 1978, sendo desenvolvido originalmente para pavimentos flexíveis, pelo Corpo de Engenheiros do Exército Americano – USACE.

Segundo MEDINA e MOTTA (2005) e RODRIGUES (1999a), é o método mais utilizado para dimensionamento de pavimentos no Brasil. Esse método pode ser utilizado tanto para pavimentos rígidos como para flexíveis, com uma vida de projeto estimada em 20 anos.

Vale ressaltar que, independente do tipo de pavimento a ser dimensionado é preciso que ocorram estudos no solo de fundação, através de sondagens, ensaios de granulometria, limite de liquidez e limite de plasticidade para sua classificação segundo o Sistema Unificado de Classificação de Solos (*Unified Soil Classification System – USCS*), além de outros ensaios julgados necessários. Igualmente, é preciso definir a aeronave de projeto, ou seja, a aeronave que produzirá no pavimento a maior espessura.

Assim, objetivando contemplar o efeito de todo o tráfego previsto, todas as outras aeronaves deverão ser convertidas, de acordo com fatores de conversão da FAA (1995a), apresentados na Tabela 4.3, para o mesmo tipo de configuração do trem-de-pouso da aeronave de projeto, tais como: roda simples (uma roda por perna); roda dupla (duas rodas por perna), duplo-tandem (quatro rodas por perna), duplo duplo-tandem (oito rodas por perna), dentre outros.

**Tabela 4.3 – Fatores de conversão dos trens de pouso.**

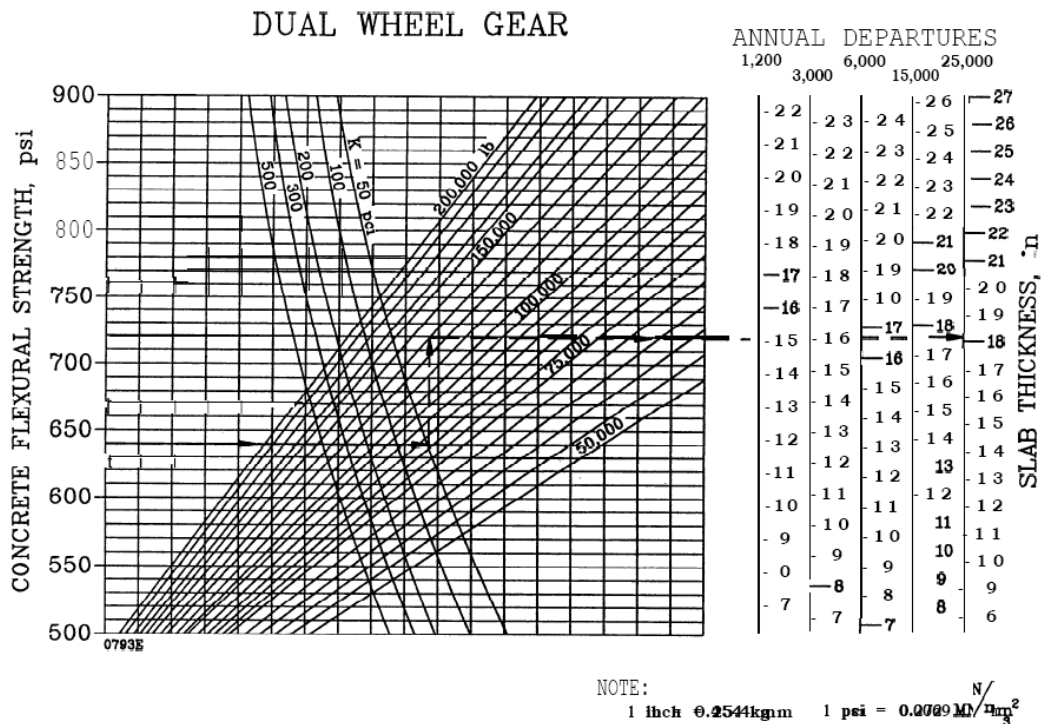
Para converter de	Para	Multiplicar as decolagens por
Roda Simples	Roda Dupla	0,8
Roda Simples	Duplo-Tandem	0,5
Roda Dupla	Duplo-Tandem	0,6
Roda Dupla	Roda Simples	1,3
Duplo-Tandem	Roda Simples	2,0
Duplo-Tandem	Roda Dupla	1,7
Duplo Duplo-Tandem	Duplo-Tandem	1,0
Duplo Duplo-Tandem	Roda Dupla	1,7

Fonte: FAA (1995a) – Adaptado.

No caso dos pavimentos rígidos, obtém-se a espessura das placas com base na Teoria de Westergaard, na qual são apresentados ábacos para cada tipo de



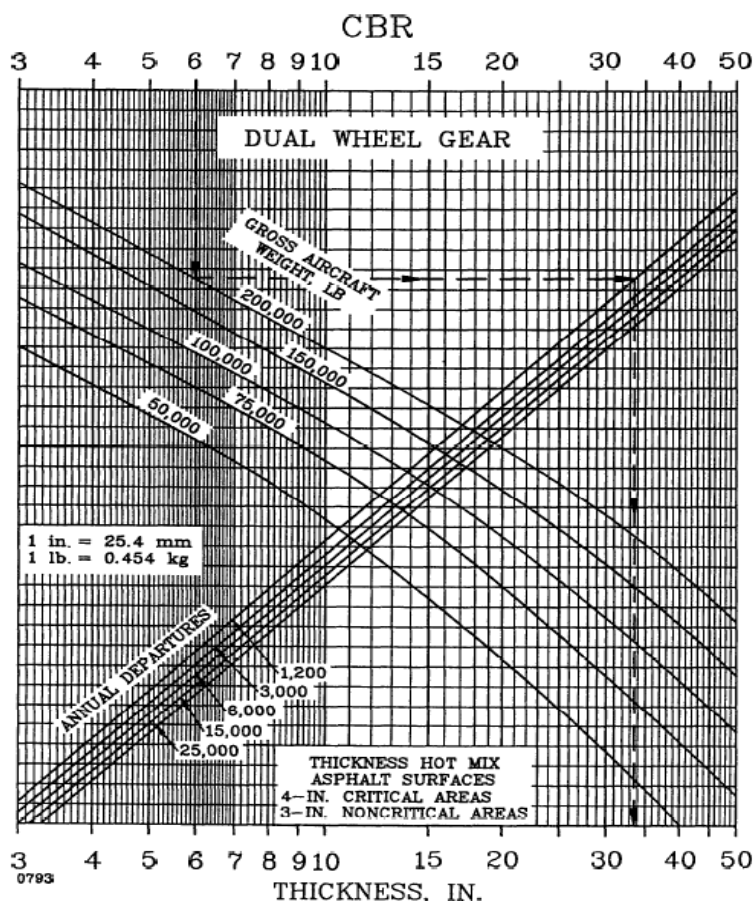
trem-de-pousa da aeronave de projeto, conforme exemplificado na Figura 4.6, para uma aeronave de roda dupla – *Dual Wheel Gear*.



**Figura 4.6** – Modelo de ábaco utilizado pela FAA para dimensionamento de pavimentos rígidos e aeronave de roda dupla. FAA (1995a).

Além disso, é necessário determinar o número equivalente anual de operações da aeronave de projeto, o peso máximo de decolagem – PMD, já definido no projeto de cada aeronave e correspondente a aproximadamente 95% do peso bruto, a resistência à tração do concreto e o módulo de reação do subleito.

Semelhante ao dimensionamento dos pavimentos rígidos, para os pavimentos flexíveis a FAA (1995a) fundamenta-se em três parâmetros: CBR do subleito do local, PMD e número de decolagens anuais, ambos da aeronave de projeto. De posse desses dados, utilizam-se ábacos, conforme o modelo apresentado pela FAA (1995a) para uma aeronave de roda dupla, na Figura 4.7.



**Figura 4.7** – Modelo de ábaco utilizado pela FAA para dimensionamento de pavimentos flexíveis e aeronave de roda dupla. FAA (1995a).

A Associação Brasileira de Pavimentação – ABPv apresentou o Método da FAA, através de um Boletim Técnico (ABPV, 1996), para ambos os tipos de pavimentos. A iniciativa da publicação deve-se a necessidade de maior exposição da metodologia para este tipo específico de pavimento, uma vez que a bibliografia existente não possuía extensa divulgação.

Além disso, a ABPV (1996) já alertava para o fato de que existiam outros métodos de dimensionamento baseados na Teoria da Elasticidade e na análise das tensões e deformações sendo pesquisados e utilizados por alguns órgãos.

Apesar da utilização do Método da FAA em muitos projetos aeroportuários brasileiros, RODRIGUES (1999a) afirma haver dificuldades na sua aplicação, devido a algumas características específicas relacionadas às condições climáticas de diversas regiões do Brasil, diferentes daquelas para as quais o método foi projetado. Além disso, existem diferenças quanto aos aeródromos com pequeno número anual de decolagens e

à impossibilidade de sua aplicação inserida em um Sistema de Gerência de Pavimentos Aeroportuários, haja vista o dimensionamento garantir uma vida útil de 20 anos, não sendo consideradas as ações destrutivas do clima e do tráfego nesse período.

Em virtude da evolução da indústria aeronáutica nos últimos anos, com o desenvolvimento de aeronaves mais modernas, com maior peso e diferentes trens de pouso, a FAA, segundo MEDINA e MOTTA (2005), passou a aplicar uma nova metodologia de dimensionamento, denominada *Layered Elastic Design – Federal Aviation Administration – LEDFAA*.

O LEDFAA (FAA, 1995b) é um programa computacional desenvolvido para projetos de pavimentos rígidos e flexíveis que deveriam receber os modernos Boeing 777, com configuração de trem-de-pouso de triplo-tandem (seis rodas por perna). A abordagem do método diz respeito às aplicações da Teoria da Elasticidade, com apresentação de conceitos de fadiga e deformações das camadas constituintes.

Apesar de o LEDFAA ser desenvolvido com base no Boeing 777, o programa é compatível com os modelos apresentados pela FAA (1995a) até, inclusive, com aeronaves tipo Boeing 747, DC-8, DC-10, etc. Ressalte-se que esse novo método não utiliza o parâmetro ‘aeronave de projeto’ e, sim, os danos provocados por todas as aeronaves previstas para operarem no aeroporto.

No Brasil, de acordo com MEDINA e MOTTA (2005), a Diretoria de Engenharia da Aeronáutica – DIRENG tem utilizado o LEDFAA para análise e verificação de dimensionamentos de pavimentos aeroportuários militares e civis.

No que diz respeito ao dimensionamento da pista de pousos e de decolagens do Aeroporto Internacional de Fortaleza, esta pesquisa não encontrou registros seguros sobre a real metodologia utilizada. Entretanto, considerando-se que a referida pista foi construída, conforme descrição apresentada no Capítulo 3, por uma empresa subsidiária da norte-americana *Pan American Airways Inc.*, acredita-se que o dimensionamento tenha sido concebido com alguns princípios ou técnicas aproximadas do que seria o Método da FAA (1995a), agência que, naquela época ainda não existia. Isso porque o método foi desenvolvido pelo USACE para aplicação em pistas de suas bases de apoio e interesse, como foi o caso de Fortaleza.

### 4.3. RESISTÊNCIA DOS PAVIMENTOS AEROPORTUÁRIOS

Em 1974, durante a VIII Conferência de Navegação Aérea, foi solicitada à ICAO a elaboração de uma metodologia internacional unificada para classificação da resistência dos pavimentos aeroportuários, com o objetivo de padronizar as informações constantes nas Publicações de Informações Aeronáuticas, conhecidas por AIP – *Aeronautical Information Publication*.

Em virtude dessa solicitação, em 1977, a ICAO instituiu um grupo de trabalho que realizou estudos que resultaram em um método de classificação destinado a aeronaves com carga igual ou superior a 5.700 kg. Assim, em 1981, a ICAO anunciou o Método ACN/PCN como um sistema universal simples para determinar o peso limite de aeronaves que poderiam operar sobre determinado pavimento aeroportuário por um procedimento de comparação entre o Número de Classificação da Aeronave (*Aircraft Classification Number* – ACN) e o Número de Classificação do Pavimento (*Pavement Classification Number* – PCN).

Para a DGAC (1999) e ANAC (2008b), pavimentos que operem ou devam operar com aeronaves inferiores aos 5.700 kg indicados pelo Método ACN/PCN devem ser representados com as informações relativas à carga máxima admissível da aeronave e à pressão máxima admissível dos pneus.

Assim, por definição da ICAO (1983), tem-se que:

- a) o ACN – é o número que indica o efeito relativo de uma aeronave com uma determinada carga sobre um pavimento, para uma especificada resistência de subleito; e,
- b) o PCN – é o número que expressa a capacidade de resistência de um determinado pavimento para operações sem restrições.

Em resumo, o Método ACN/PCN indica que um pavimento com um determinado valor de PCN pode suportar, sem restrições, qualquer aeronave classificada com um valor de ACN igual ou inferior ao PCN notificado, desde que sejam respeitadas as limitações de pressão dos seus pneus. Portanto, dessa forma, se:

$$\text{ACN} > \text{PCN} \rightarrow \text{operação não recomendada} \quad (4.1)$$

$$\text{ACN} \leq \text{PCN} \rightarrow \text{operação recomendada} \quad (4.2)$$

A ICAO (1983 e 1997) ressalta, porém, que o Método ACN/PCN não tem a finalidade de projetar ou avaliar os pavimentos aeroportuários, e que é permitida a cada administração aeroportuária ou a autoridade aeronáutica a utilização de qualquer metodologia ou técnica de dimensionamento.

Segundo a FAA (2006b), o cálculo do ACN exige informações detalhadas sobre as características físicas e operacionais das aeronaves, como o centro de gravidade, PMD, espaçamento entre as rodas do trem de pouso, pressão dos pneus, dentre outras.

De acordo com a ICAO (1983), são utilizados dois modelos matemáticos para obtenção do valor do ACN dependendo do tipo de pavimentos, ou seja:

- a) rígidos – utilizada a Teoria de Westergaard, baseada em uma placa elástica carregada sobre uma sub-base de Winkler, assumindo o concreto uma tensão de trabalho de 2,75 MPa; e,
- b) flexíveis – fundamentado no CBR, que emprega a solução de Boussinesq, baseada nos deslocamentos e esforços de um semi-espaço homogêneo e isotrópico.

O ACN, numericamente, é o dobro da carga derivada de roda simples padrão, que é uma função da resistência do terreno de fundação – subleito, com pressão normalizada de 1,25 MPa, expressa em milhares de quilogramas (ICAO, 1983). Vale ressaltar que o ACN se define somente para as quatro categorias de resistência de subleito: alta, média, baixa e ultra-baixa, que serão definidas posteriormente quando da descrição da notificação do Método ACN/PCN.

O conceito de roda simples citado anteriormente, segundo a ANAC (2008b), é obtido matematicamente e define a interação trem-de-pouso e pavimento. Da mesma forma, sugere tensão idêntica na estrutura e suprime a necessidade de especificar a espessura do pavimento quando se equipara a espessura obtida para o trem-de-pouso à espessura obtida para uma só roda com pressão normalizada.

A ICAO (1983) adotou convenções para determinação dos valores de ACN, uma vez que as aeronaves podem ser operadas em diversas condições de carga e centro de gravidade: o ACN máximo de uma aeronave se calcula com a massa e o centro de gravidade que produzem a carga máxima do trem-de-pouso principal sobre o

pavimento. Para condições específicas, os valores de ACN são os que se ajustam aos efeitos da pressão dos pneus e/ou a posição do centro de gravidade, com peso bruto especificado para a aeronave.

Além disso, os fabricantes de aeronaves devem disponibilizar os valores oficiais de ACN, com base em informações detalhadas sobre as características das aeronaves.

O Anexo 2 desta pesquisa apresenta uma tabela de ACN com valores de referência para diversas categorias de aeronaves, os dois tipos de pavimentos – rígidos e flexíveis e as quatro categorias de resistência do subleito. Na tabela do Anexo 2, a carga total das aeronaves apresenta-se com base no PMD e o Peso Operacional Vazio – OV, em kg.

Nos últimos anos, uma ferramenta importante foi desenvolvida pela FAA com o intuito de facilitar a obtenção dos valores de ACN. Trata-se do programa computacional denominado COMFAA que permite calcular os valores de ACN de acordo com o Método ACN/PCN.

Segundo a FAA (2006b), o COMFAA possui uma biblioteca interna que abrange a maior parte das aeronaves comerciais e militares atualmente em operação. A utilização do programa permite que o usuário selecione os parâmetros desejados, tais como a aeronave e o tipo de pavimento, exibindo o ACN para as quatro categorias de resistência de subleito.

Os resultados apresentados pelo COMFAA divergem muito pouco daqueles divulgados pela ICAO (1983), conforme se observa nas tabelas de ACN para pavimentos rígidos e flexíveis publicados pela FAA (2003a).

Além do COMFAA, outros programas foram desenvolvidos por empresas especializadas, a exemplo do WinPCN, produzido pela Dynatest Engenharia Ltda. (DYNATEST, 2008b), executado em plataforma Windows e baseado em métodos utilizados pela ICAO, incluindo um banco de dados de mais de 125 aeronaves.

Segundo DINATEST (2008b), o WinPCN pode calcular o PCN de um determinado pavimento aeroportuário com base em valores de ACN e CBR do subleito como descrito em FAA (2006a) e ICAO (1983).

No que diz respeito à determinação do PCN existem dois métodos conhecidos: um baseado na experiência, com operações de aeronaves sobre um determinado pavimento, e outro que se baseia na avaliação técnica.

O procedimento experimental é de fácil utilização e aplicação, haja vista não haver necessidade de conhecimento detalhado da estrutura do pavimento. Isso porque, neste caso, o valor do PCN é expresso como o maior valor de ACN de todas as aeronaves que utilizam o pavimento de um determinado aeroporto.

No procedimento técnico, de acordo com informações da ANAC (2008b), são usados os mesmos princípios para o projeto de dimensionamento de pavimentos, sendo obtido o valor do PCN a partir da obtenção da carga bruta admissível suportada pelo pavimento. Para isso deve-se considerar a frequência de operações e os níveis de tensão admissíveis, obtendo-se a carga bruta da aeronave pelo processo inverso do dimensionamento. Além disso, é preciso avaliar o tráfego equivalente no aeroporto, a partir do tráfego de todas as aeronaves.

Assim, dependendo do método de obtenção, o valor numérico do PCN expressa a capacidade de resistência de um determinado pavimento em termos de carga de roda simples padrão, a uma pressão de pneus normalizada de 1,25 MPa, além da tensão de trabalho no concreto, para pavimentos rígidos, de 2,75 MPa e as quatro categorias de resistência de subleito.

Recomenda-se que o valor do PCN seja expresso em número inteiro, arredondando-se os números fracionários para o inteiro mais próximo. Segundo a ANAC (2008b), para pavimentos de resistência variável, o valor de PCN a ser notificado deve ser o correspondente ao segmento mais fraco do pavimento.

Diante das definições e das descrições de ACN e PCN, a notificação formal do PCN baseia-se além do valor numérico do PCN, nos seguintes parâmetros: tipo de pavimento; resistência do subleito, para cada tipo de pavimento; pressão máxima admissível dos pneus; e, método de avaliação dos pavimentos.

Ressalte-se que, para cada parâmetro listado no parágrafo anterior, existe um código específico associado, conforme se apresentam nas Tabelas 4.4, 4.5, 4.6, 4.7 e 4.8.

**Tabela 4.4** – Notificação do PCN – Tipo pavimento.

Parâmetro	Categoria	Código
Tipo de Pavimento	Rígido	R
	Flexível	F

**Tabela 4.5** – Notificação do PCN – Resistência do subleito para pavimentos rígidos.

Parâmetro	Categoria	Resistência do subleito (k em MN/m <sup>3</sup> )	Resistência do subleito normalizada (k em MN/m <sup>3</sup> )	Código
Resistência do subleito – Pavimento Rígido	Alta	$k \geq 120$	150	A
	Média	$60 < k < 120$	80	B
	Baixa	$25 < k \leq 60$	40	C
	Ultra-Baixa	$k \leq 25$	20	D

**Tabela 4.6** – Notificação do PCN – Resistência do subleito para pavimentos flexíveis.

Parâmetro	Categoria	Resistência do subleito (CBR)	Resistência do subleito normalizada (CBR)	Código
Resistência do subleito – Pavimento Flexível	Alta	$\text{CBR} \geq 13$	15	A
	Média	$8 < \text{CBR} < 13$	10	B
	Baixa	$4 < \text{CBR} \leq 8$	6	C
	Ultra-Baixa	$\text{CBR} \leq 4$	3	D

**Tabela 4.7** – Notificação do PCN – Pressão máxima admissível dos pneus.

Parâmetro	Categoria	Pressão máxima permitida (MPa)	Código
Pressão máxima admissível dos pneus	Alta	Sem limite de pressão	W
	Média	Pressão limitada a 1,5 MPa	X
	Baixa	Pressão limitada a 1,0 MPa	Y
	Ultra-Baixa	Pressão limitada a 0,5 MPa	Z

**Tabela 4.8** – Notificação do PCN – Método de avaliação.

Parâmetro	Categoria	Código
Método de avaliação	Experimental	U
	Técnico	T



Para o Aeroporto Internacional de Fortaleza, os valores de PCN para o seu sistema de pátios e de pistas são os apresentados na Tabela 4.9.

**Tabela 4.9** – PCN dos pátios e das pistas do Aeroporto Internacional de Fortaleza.

Pátios/Pistas/Taxiways	PCN
Pátio 1 – TAG	44/R/A/X/T
Pátio 2 – TPS	51/R/A/X/T
Pátio 3 – Novo TECA	69/R/B/X/T
Pista de pousos e de decolagens – RWY 13/31	66/F/A/X/T
<i>Taxiway Alfa</i> – TWY A	66/F/A/X/T
<i>Taxiway Bravo</i> – TWY B	66/F/A/X/T
<i>Taxiway Charlie</i> – TWY C	66/F/A/X/T
<i>Taxiway Delta</i> – TWY D	66/F/A/X/T
<i>Taxiway Echo</i> – TWY E	28/F/A/X/T
<i>Taxiway Foxtrot</i> – TWY F	66/F/A/X/T
<i>Taxiway Golf</i> – TWY G	66/F/A/X/T
<i>Taxiway Hotel</i> – TWY H	66/F/A/X/T
<i>Taxiway India</i> – TWY I	66/F/A/X/T
<i>Taxiway Juliett</i> – TWY J	66/F/A/X/T
<i>Taxiway Kilo</i> – TWY K	66/F/A/X/T
<i>Taxiway Lima</i> – TWY L	66/F/A/X/T

Fonte: INFRAERO (2008c).

Os valores de PCN apresentados na Tabela 4.9 mostram que, a exceção daquele correspondente à TWY E, os pavimentos do Aeroporto Internacional de Fortaleza possuem adequada capacidade de suporte, podendo atender aeronaves comerciais e militares de grande porte.

A pista de pousos e de decolagens é compatível para o atendimento da aeronave crítica para o aeroporto, como já mencionado nesta pesquisa, o Boeing 747-400 que possui um ACN de 53 para pavimentos rígidos e 57 para pavimentos flexíveis, considerando o PMD, uma alta resistência do subleito e uma média pressão admissível dos pneus, conforme se verifica no Anexo 2.

Contudo, o mesmo não se pode afirmar para o Pátio 1 – TAG e Pátio 2 – TPS, conforme se verifica pelos valores correspondentes na Tabela 4.9, que possuem PCN inferiores ao ACN da aeronave crítica, não sendo, portanto, recomendada à operação

dessa aeronave, nas características citadas no parágrafo anterior, nos seus pátios em virtude de ocasionar uma sobrecarga sobre o pavimento.

O caso de sobrecargas em pavimentos aeroportuários é previsto pela ICAO (1983). Desde que pequena e ocasional, uma sobrecarga é aceitável, segundo ANAC (2008b), pois tal situação gera uma pequena aceleração em sua deterioração, com diminuição proporcional na sua vida útil.

Para tratar essa situação a ICAO (1983) estabelece que o número anual de operações com sobrecarga não deve ultrapassar a 5%, aproximadamente, do número anual total de operações no aeroporto. Seguindo esse critério, tem-se na Tabela 4.10, as operações nos últimos quatro anos, envolvendo o Boeing 747-400 no Aeroporto Internacional de Fortaleza.

**Tabela 4.10** – Número de operações do Boeing 747-400 no Aeroporto Internacional de Fortaleza, entre 2004 e 2007.

Aeronave	Operações/Ano			
	2004	2005	2006	2007
Boeing 747-400	0	0	0	2
Total do Ano	47.226	46.638	42.588	39.652

Fonte: INFRAERO (2008a).

Pela Tabela 4.10 verifica-se que as operações envolvendo o Boeing 747-400, para qual não seriam recomendadas as operações nos Pátio 1 – TAG e Pátio 2 – TPS, são bem inferiores ao limite estabelecido pela ICAO (1983), inclusive com anos sem quaisquer movimentações. Dessa forma, não se faz necessária uma análise criteriosa da resistência estrutural desses pátios, uma vez que a frequência e a intensidade da sobrecarga da aeronave não proporcionam danos substanciais ao pavimento.

Além desse critério, a ICAO (1983 e 2004) indica que, para pavimentos flexíveis, as operações de aeronaves com ACN não superior a 10% do PCN notificado não trazem prejuízos aos pavimentos. Para pavimentos rígidos ou compostos, o valor de ACN não deve ser superior a 5% do PCN informado. Quando não se conhece a estrutura do pavimento, aplica-se o limite de 5% sobre o PCN informado.

DGAC (1999) analisa as autorizações dessas condições limites de sobrecarga em pavimentos aeroportuários, através do fluxograma apresentado na Figura 4.8, em que

leva em consideração, dentre outros aspectos, a pressão real ( $q$ ) e a pressão limite de enchimento dos pneus das aeronaves ( $q_0$ ), bem como o modo de avaliação do PCN, se técnico ou experimental, conforme a metodologia apresentada anteriormente.

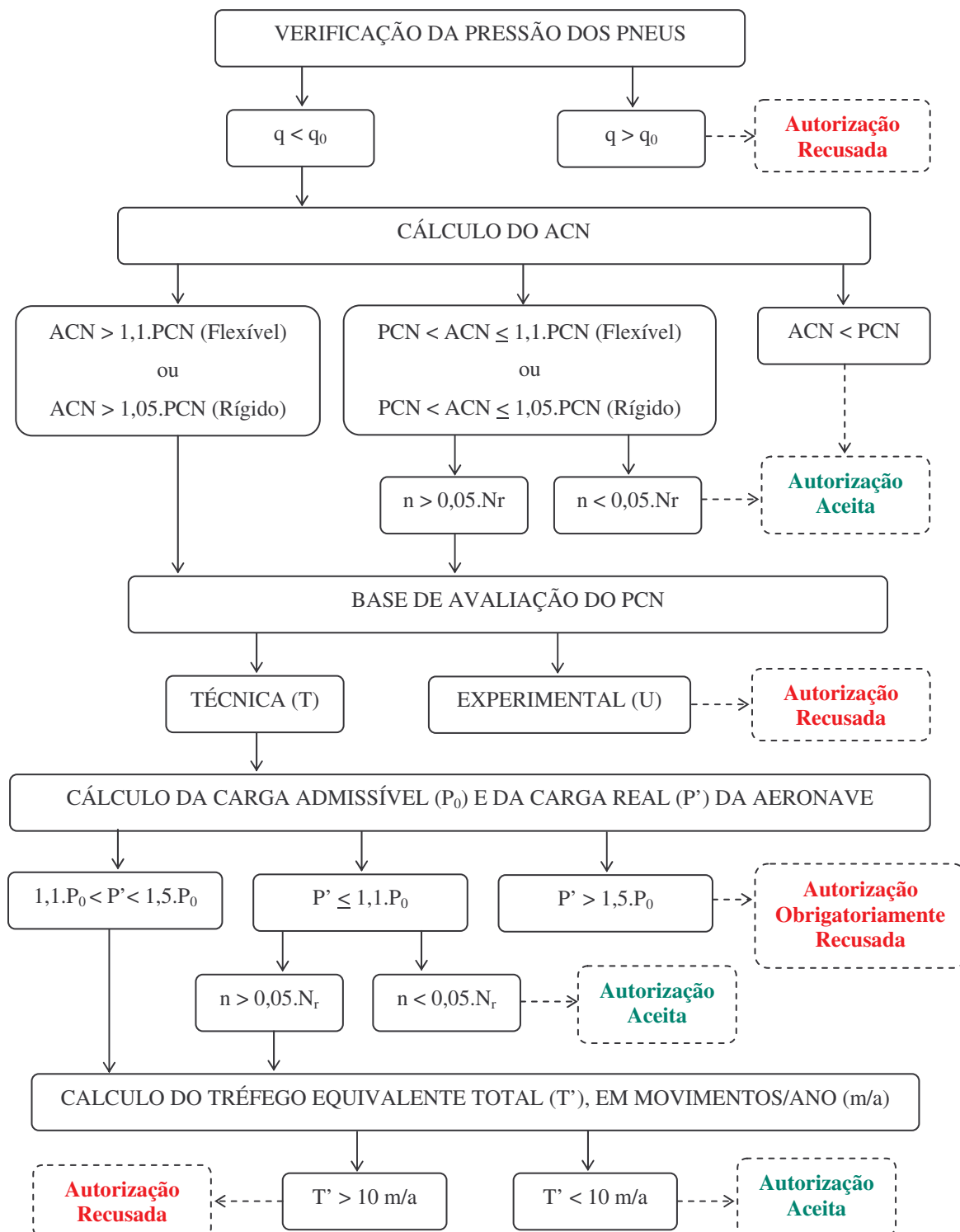


Figura 4.8 – Fluxo de análise de sobrecargas. DGAC (1999).

onde,

$q$  – pressão real de enchimento dos pneus da aeronave analisada (MPa);

$q_0$  – pressão limite de enchimento dos pneus da aeronave analisada (MPa);

$n$  – número anual de operações reais em sobrecarga;

$N_r$  – tráfego de referência do aeroporto;

$T$  – avaliação técnica do pavimento;

$U$  – avaliação experimental do pavimento;

$T'$  – tráfego equivalente total anual;

$m/a$  – movimentos/ano;

$P'$  – carga real da aeronave analisada (kg); e,

$P_0$  – carga admissível da aeronave analisada (kg), obtida mediante a equação 4.3:

$$P_0 = OV + (PMD - OV) \times \frac{PCN - ACN_{\min}}{ACN_{\max} - ACN_{\min}} \quad (4.3)$$

em que,

$OV$  – peso operacional vazio (kg);

$PMD$  – peso máximo de decolagem (kg);

$PCN$  – número de classificação do pavimento;

$ACN_{\min}$  – número mínimo de classificação de aeronave; e,

$ACN_{\max}$  – número máximo de classificação de aeronave.

Dados fornecidos pela BOEING (1982) *apud* DIRENG (1985), para a pista de pousos e de decolagens do Aeroporto Internacional de Fortaleza, indicavam um PCN igual a 45/F/A/W/U.

O documento (DIRENG, 1985), como já mencionado no Capítulo 3 desta pesquisa, foi elaborado com o intuito de definir as diretrizes para as obras de reforço da pista de pousos e de decolagens. Os serviços seriam constituídos de um recapeamento de toda a extensão da pista, inclusive das cabeceiras de concreto, numa espessura da camada de reforço da superfície, para o eixo, de 5 cm, e para as bordas, um valor mínimo de 3,5 cm, executado em Concreto Betuminoso Usinado à Quente – CBUQ. Isso permitiria um incremento do valor do PCN passando para 70/F/A/X/T.

Nota-se que transcorridos mais de 20 anos do último serviço de reforço da pista de pousos e de decolagens do Aeroporto Internacional de Fortaleza, o valor do PCN

sofreu um pequeno decréscimo, mantendo uma adequada capacidade estrutural. Vale registrar que esta pesquisa não obteve informações legítimas de outros serviços que tivessem o objetivo de reforço estrutural de quaisquer outros pavimentos do Aeroporto Internacional de Fortaleza.

#### **4.4. AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES ESTRUTURAIS**

As avaliações das condições estruturais feitas nos pavimentos do Aeroporto Internacional de Fortaleza, as quais esta pesquisa teve acesso, foram executadas pela BOEING (1982) *apud* DIRENG (1985) e pela DIRENG (1978 e 1991).

Em 1978, a avaliação dos pavimentos do Aeroporto Internacional de Fortaleza foi realizada através de métodos indiretos, com elementos obtidos no campo e no laboratório, utilizando ensaios não-destrutivos, além de proceder a um levantamento detalhado dos componentes físicos do pavimento, dados do tráfego e das condições de drenagem, realizando uma análise completa desses elementos.

Essa foi a decisão da DIRENG (1978), já que a utilização de métodos diretos, baseados em ensaios destrutivos, com prova de carga na estrutura, exigiria o transporte dos equipamentos necessários para a execução dos ensaios, além da interrupção das operações e do tráfego no aeroporto.

A conclusão do relatório era de que os pavimentos do Aeroporto de Fortaleza apresentavam condições satisfatórias. Apesar disso, recomendava serviços de reforço da 1ª etapa de construção do pátio de manobras, realizada em 1966 conforme mostrado no Capítulo 3, para que pudesse ser utilizado por Boeing 727-200, rejuntamento das placas de concreto do pátio de manobras e das cabeceiras da pista de pousos e de decolagens, além de reparos localizados em determinados pontos dessa pista DIRENG (1978).

Em termos de resistência da estrutura, foi verificado que a pista de pousos e de decolagens podia atender a todas as aeronaves em operação na época, com carga plena, conforme já mencionado anteriormente nesta pesquisa. No que diz respeito ao pátio de manobras, a DIRENG (1978) foi enfática em afirmar que a 1ª etapa de construção era a parte crítica, já que o valor de suporte encontrado era inferior às cargas normais de

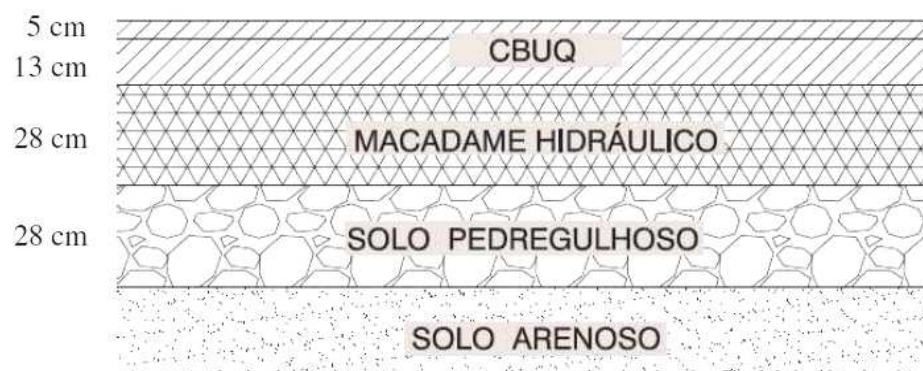
utilização das aeronaves. A 2ª etapa de construção, ou seja, a área correspondente a ampliação desse pátio ocorrida em 1972, apresentava características de suporte inferiores às da pista de pousos e de decolagens, porém superiores às da 1ª etapa.

Por sua vez, o levantamento das condições estruturais da BOEING (1982) *apud* DIRENG (1985) também utilizou um método não-destrutivo de avaliação, baseado na análise de deflexões medidas no próprio pavimento, utilizando-se como carga uma aeronave Boeing 727-200.

As deflexões foram analisadas utilizando-se uma seção transversal do pavimento constituída por um revestimento de 13 cm de concreto asfáltico, 28 cm de base de macadame hidráulico, sub-base de 28 cm composta de material pedregulhoso, firmes sobre um subleito de areia siltosa de CBR superior a 20% (BOEING, 1982 *apud* DIRENG, 1985).

O relatório da BOEING (1982) *apud* DIRENG (1985) concluía que o pavimento da pista de pousos e de decolagens possuía capacidade de suporte suficiente para atender todas as aeronaves em operação na época, com plena carga, bem como ao tráfego previsto para um período de 20 anos.

A última avaliação das condições estruturais realizadas nos pavimentos do Aeroporto Internacional de Fortaleza, apresentado pela DIRENG (1991), foi obtido através da pesquisa de registros relativos à natureza e espessura das camadas constituintes da pista de pousos e de decolagens, que após as obras de reforço utilizando-se CBUQ, sugerido pela DIRENG (1985), passou a ter a configuração ilustrada na Figura 4.9.



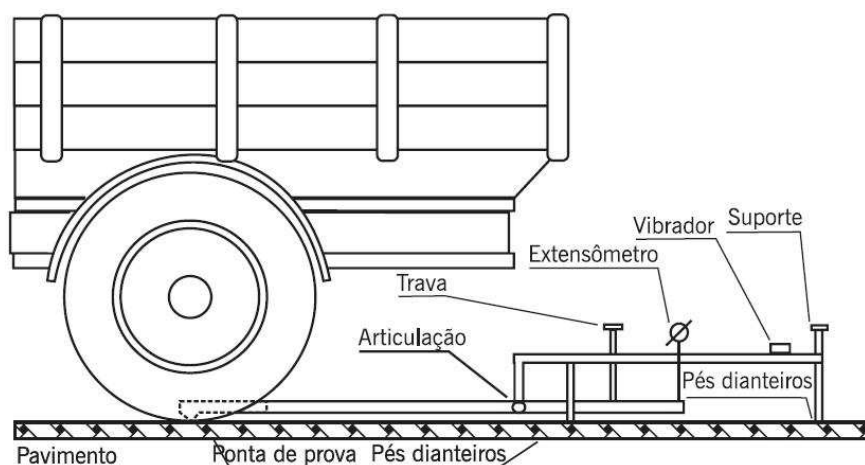
**Figura 4.9** – Seção transversal da pista de pousos e de decolagens do Aeroporto Internacional de Fortaleza. DIRENG (1991).

Além disso, a avaliação da DIRENG (1991) também foi realizada em função de resultados de ensaios não-destrutivos realizados com a Viga Benkelman, mostrada na Figura 4.10.



**Figura 4.10** – Viga Benkelman. BERNUCCI *et al.* (2007).

A medição através desse equipamento de carregamento quase-estático, mostrado esquematicamente na Figura 4.11, é um aparelho bastante utilizado no setor rodoviário para medição de deflexões nos pavimentos. Para sua utilização é preciso dispor de um caminhão de rodas duplas com pressão de 80 lbs/pol<sup>2</sup>, carregado com 8,2 t no eixo traseiro.



**Figura 4.11** – Esquema de medida da Viga Benkelman. DNER (1994).

O ensaio com a Viga Benkelman, de acordo com DNER (1994), consiste, inicialmente, em colocar a ponta de prova da Viga Benkelman entre os pneus da roda conjugada traseira do caminhão, colocando-a exatamente sob o seu eixo, e fazer uma leitura inicial do extensômetro – leitura  $L_i$ . Em seguida fazer o caminhão se afastar

lentamente até 10 m de distância da ponta de prova ou até que o extensômetro não acusasse mais variação da leitura. Após isso, fazer a leitura final do extensômetro – leitura  $L_f$ .

A leitura final corresponde ao descarregamento do pavimento e todo o deslocamento recuperado é associado à deflexão do pavimento. Calcula-se a deflexão  $d_0$  pela expressão 4.4, sendo K a constante da Viga dada pela relação entre o braço maior e o braço menor, articulados.

$$d_0 = (L_i - L_f) \times K \quad (4.4)$$

em que,

$d_0$  – deflexão (mm);

$L_i$  – leitura inicial do extensômetro (mm);

$L_f$  – leitura final do extensômetro (mm);

K – constante da Viga Benkelman.

No caso do levantamento efetuado pela DIRENG (1991), as medidas foram realizadas em 11 pontos distintos da pista de pousos e de decolagens, distanciados entre si em cerca de 250 m e situados a 3 m à esquerda e à direita do eixo, sendo obtidos os valores apresentados na Tabela 4.11.

**Tabela 4.11** – Medidas das deflexões da pista de pousos e de decolagens do Aeroporto Internacional de Fortaleza.

Ponto	Deflexão (0,01 mm)		Distância da cabeceira 13
	Lado Direito	Lado Esquerdo	
1		22	150 m
2	22		400 m
3		30	650 m
4	22		900 m
5	16		1.000 m
6	14		1.250 m
7		20	1.400 m
8		18	1.650 m
9	26		1.900 m
10		18	2.150 m
11	16		2.400 m

Fonte: DIRENG (1991) – Adaptado.



Verifica-se pelos dados da Tabela 4.11, que a maior deflexão da pista de pousos e de decolagens do Aeroporto Internacional de Fortaleza, na época do levantamento, encontrava-se no ponto 3 (igual a  $30 \times 0,01$  mm), a cerca de 650 m da cabeceira 13. Esse ponto corresponde ao 1º terço da mencionada pista, aproximadamente na zona de toque das aeronaves, comprovando, assim, a sua área mais solicitada.

A deflexão média registrada por DIRENG (1991) foi de  $20,36 \times 0,01$  mm com desvio padrão das leituras igual a  $4,72 \times 0,01$  mm, tendo o valor da deflexão característica de  $24,32 \times 0,01$  mm.

O relatório da DIRENG (1991) concluía, com base na análise da estrutura e das deflexões, que a pista de pousos e de decolagens do Aeroporto Internacional de Fortaleza era composto de uma estrutura de comportamento semi-flexível. Apesar disso, não indicava um valor específico de PCN. A única informação referente à capacidade de carga era estimada e apontava para um volume de 120.000 decolagens do Boeing 767-300 ER com 380.000 lb (um pouco mais de 172.000kg) de carga bruta, possuindo a pista de pousos e de decolagens adequada resistência estrutural.

Ainda quanto aos levantamentos das condições estruturais, além da Viga Benkelman, a ICAO (1997) indica para avaliação não-destrutiva da resistência dos pavimentos aeroportuários, o equipamento conhecido como *Falling Weight Deflectometer* – FWD, mostrado na Figura 4.12.



**Figura 4.12** – *Falling Weight Deflectometer* – FWD. DYNATEST (2008c).

O FWD é um equipamento que funciona com carregamento por impacto e, segundo DYNATEST (2008c) permite a determinação automática das bacias de deformações recuperáveis dos pavimentos, com elevada precisão e produtividade.

No Brasil, o procedimento de ensaio para determinação dessas deflexões é descrito pela norma rodoviária DNER-PRO 273/96 (DNER, 1996). A metodologia consiste na aplicação da carga de impacto, por meio de um peso suspenso a certa altura, e posterior leitura dos deslocamentos através de sensores dispostos em posições pré-determinadas para se obter a linha de deslocamentos, conforme se apresenta na Figura 4.13.



**Figura 4.13** – Esquema de medida do FWD. BERNUCCI *et al.* (2007).

Para BERNUCCI *et al.* (2007), o FWD possui inúmeras vantagens sobre a Viga Benkelman, contudo algumas desvantagens podem ser citadas, como o custo do equipamento, calibrações mais sofisticadas e diferença de resultados entre as diversas marcas existentes no mercado.

Ressalte-se que esta pesquisa não efetuou levantamento das condições estruturais dos pavimentos do Aeroporto Internacional de Fortaleza, uma vez que o objetivo é voltado para as condições de superfície, especificamente para a textura superficial e o coeficiente de atrito que, a princípio, não necessitam de dados dessa natureza para sua composição.

#### 4.5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As condições estruturais dos pavimentos constituintes dos sistemas de pátios e de pistas do Aeroporto Internacional de Fortaleza foram descritas sucintamente neste capítulo com base nas suas características, resistências e nas escassas avaliações realizadas durante sua existência.

Este capítulo foi redigido com o objetivo de complementar as informações apresentadas nos capítulos iniciais desta pesquisa, bem como servir de cenário e/ou ponto de partida para uma descrição mais aprofundada das condições de superfície que serão expostas no capítulo posterior, com destaque para a pista de pousos e de decolagens do Aeroporto Internacional de Fortaleza.

## **CAPÍTULO 5**

# **CONDIÇÕES DE SUPERFÍCIE DOS PAVIMENTOS AEROPORTUÁRIOS**

O objetivo deste capítulo é apresentar algumas considerações sobre as condições de superfície dos pavimentos aeroportuários, especificamente para a pista de pousos e de decolagens do Aeroporto Internacional de Fortaleza. Como forma de subsídio, será dado ênfase as avaliações da textura superficial e do coeficiente de atrito obtidas no citado aeroporto ao longo dos anos.

### **5.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS**

Nos primórdios da aviação, os poucos aeroportos existentes possuíam quase ou nenhuma infraestrutura de apoio às aeronaves, aos passageiros e aos seus usuários de um modo geral. Com o passar dos anos e o expressivo desenvolvimento das modernas aeronaves de passageiros e de cargas, os serviços de pavimentação em pistas aeroportuárias tornaram-se imprescindíveis.

Entretanto, a importância não estava apenas em construir as infraestruturas de apoio. Era preciso mantê-las em condições de operações e de segurança, de forma que não se tornassem fatores contribuintes para a ocorrência de acidentes ou incidentes envolvendo aeronaves e seus equipamentos.

Estatísticas da BOEING (2008) mostram que, entre os anos de 1997 a 2006, 11% dos acidentes fatais envolvendo aeronaves comerciais a jato ocorreram na fase de decolagem. Quando se consideraram os pousos, essa porcentagem atingiu os 22% dos acidentes fatais. As vítimas a bordo decorrentes desses acidentes somaram 17%.

Diante dessa questão, as atividades relacionadas às avaliações dos pavimentos, independente de estarem ou não inseridas em um Sistema de Gerência de Pavimentos Aeroportuários – SGPA, devem ser realizadas com o objetivo de se verificar, dentre outras questões essenciais, as condições de superfície, tais como as características da

textura superficial, o coeficiente de atrito e os defeitos existentes, como forma de se evitar a deterioração do pavimento e, por consequência, os riscos de acidentes e incidentes.

## 5.2. TEXTURA SUPERFICIAL

### 5.2.1. Microtextura

Conforme RODRIGUES FILHO (2006) e BERNUCCI *et al.* (2007), existem quatro escalas de textura superficial: a microtextura, a macrotextura, a megatextura e a irregularidade, que representam a distância – comprimento de onda entre dois picos ou depressões da superfície do pavimento, de acordo com o que se apresenta na Tabela 5.1.

**Tabela 5.1** – Classes de Textura do Pavimento.

Classificação da Textura	Comprimento de Onda ( $\lambda$ )
Microtextura	$\lambda < 0,50$ mm
Macrotextura	$0,50$ mm $\leq \lambda < 50$ mm
Megatextura	$50$ mm $\leq \lambda < 500$ mm
Irregularidade	$0,50$ m $< \lambda < 50$ m

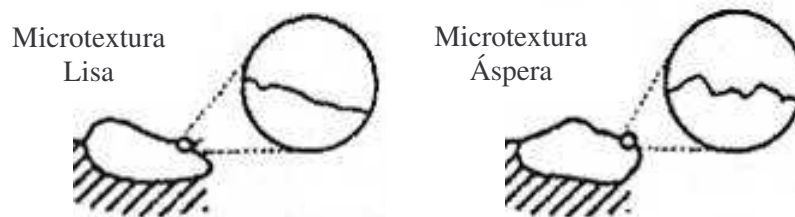
Fonte: RODRIGUES FILHO (2006) e BERNUCCI *et al.* (2007).

Entretanto, segundo considerações de FONSECA (1990), DIRENG (1991), KAZDA e CAVES (2000), ICAO (2002) e FAA (2003b), a textura das superfícies dos pavimentos aeroportuários é caracterizada pela microtextura e pela macrotextura. Isso pelo fato de que esses são os dois elementos que mais proporcionam características antiderrapantes à superfície dos pavimentos, sendo fundamentais para a composição do coeficiente de atrito e do processo de aderência pneu-pavimento.

De acordo com a ICAO (2002), a microtextura é a textura representada pela superfície das partículas individualmente, que podem ser sentidas pelo tato, mas que não se pode medir diretamente.

Para RODRIGUES FILHO (2006), a microtextura não é visível a olho nu, porém, através de uma avaliação tátil, pode ser classificada como lisa ou áspera.

A classificação da microtextura – lisa ou áspera, é ilustrada na Figura 5.1.



**Figura 5.1** – Tipos de microtextura – lisa e áspera. KAZDA e CAVES (2000).

Uma superfície com microtextura áspera ou rugosa, para KAZDA e CAVES (2000), permite uma penetração substancial de uma película fina de água, proporcionando um nível geral de atrito alto. Por sua vez, uma superfície com uma microtextura lisa ou polida possui propriedades deficientes de penetração de uma película fina de água. O nível geral de atrito, para esse tipo de microtextura, geralmente apresenta baixos resultados.

Na opinião da DIRENG (1991), a microtextura lisa propicia condições favoráveis à ocorrência de aquaplanagem viscosa na presença de lâminas de água muito finas, enquanto a microtextura áspera evita tal ocorrência. A aquaplanagem viscosa, segundo UBIRATAN (2008), é aquela verificada em menores velocidades, especialmente durante o deslocamento das aeronaves pelas pistas de taxiamento.

Para a ICAO (1997), uma das causas prováveis de microtextura lisa pode estar associada à utilização de agregados inadequados e à ação do tráfego e das condições climáticas.

O grande problema da microtextura, nas considerações de KAZDA e CAVES (2000), está no fato de que essa característica pode ser alterada em um curto espaço de tempo. Um exemplo típico dessa mudança provém da impregnação da borracha dos pneus das aeronaves nas zonas de toque das pistas de pousos e de decolagens que pode cobrir a microtextura, interferir nas suas características e, por consequência, no coeficiente de atrito.

A impregnação de borracha e o seu respectivo procedimento de remoção serão descritos com maiores detalhes em itens posteriores deste capítulo.

No que diz respeito à avaliação da microtextura, BERNUCCI *et al.* (2007), recomenda a utilização do Pêndulo Britânico, mostrado através da Figura 5.2.



**Figura 5.2** – Pêndulo Britânico. BERNUCCI *et al.* (2007).

O Pêndulo Britânico, segundo a DYNATEST (2008a), é um equipamento portátil desenvolvido inicialmente pelo Escritório Nacional de Padronização dos Estados Unidos (*United States National Bureau of Standards*) e aperfeiçoado pelo Laboratório Britânico de Pesquisa Rodoviária (*British Road Research Laboratory*) objetivando executar ensaios de resistência à derrapagem em superfícies úmidas, simulando a passagem do pneu de um veículo a uma velocidade aproximada de 60 km/h.

O método de ensaio é padronizado pela Sociedade Americana para Testes e Materiais (*American Society of Testing Materials – ASTM*) através da norma ASTM 303-93, sendo utilizada tanto em campo como em laboratório. De acordo com a ASTM (1998), esse método é utilizado para se determinar os efeitos relativos de vários processos de polimento de materiais ou combinação destes.

O equipamento consiste de um pêndulo de impacto com uma base recoberta de borracha, que deve ser impulsionado em direção à superfície molhada do pavimento a ser analisado. O objetivo é medir a perda de energia ocasionada pelo atrito provocado entre o pêndulo e a superfície do pavimento.

Os valores obtidos no ensaio do Pêndulo Britânico determinam o Valor de Resistência à Derrapagem – VRD, conforme as classes apresentadas na Tabela 5.2, sendo recomendado um valor mínimo de 47, segundo BERNUCCI *et al.* (2007).

**Tabela 5.2 – Classes de Microtextura**

Classe	Valor de Resistência à Derrapagem – VRD
Perigosa	$< 25$
Muito Lisa	$25 \leq \text{VRD} \leq 31$
Lisa	$32 \leq \text{VRD} \leq 39$
Insuficientemente Rugosa	$40 \leq \text{VRD} \leq 46$
Medianamente Rugosa	$47 \leq \text{VRD} \leq 54$
Rugosa	$55 \leq \text{VRD} \leq 75$
Muito Rugosa	$\text{VRD} > 75$

Fonte: BERNUCCI *et al.* (2007).

Contudo, KAZDA e CAVES (2000), além da ICAO (2002), não apresentam uma recomendação para um VRD destinado aos pavimentos aeroportuários, bem como indicam não existir critério objetivo especificado para se determinar diretamente a microtextura.

No Aeroporto Internacional de Fortaleza foi realizado pela DIRENG (1991) uma avaliação funcional da sua pista de pousos e de decolagens, onde constam, dentre outras informações relevantes, os dados de microtextura apresentados na Tabela 5.3, obtidos através do tato em pontos localizados a 3 m do eixo, alternadamente à direita (D) e à esquerda (E), a partir da cabeceira 13.

**Tabela 5.3 – Microtextura da pista de pousos e de decolagens, em 1990.**

Localização em relação à cabeceira 13 (m)	Classificação da Microtextura	Observações
100 D	Áspera	
300 E	Áspera	Grande contaminação de borracha
500 D	Áspera	Grande contaminação de borracha
700 E	Áspera	Grande contaminação de borracha
900 D	Áspera	
1.000 E	Áspera	
1.300 D	Áspera	
1.500 E	Áspera	
1.700 D	Áspera	
1.900 E	Áspera	
2.100 D	Áspera	
2.500 E	Áspera	

Fonte: DIRENG (1991).



Nota-se pela Tabela 5.3, grande contaminação de borracha entre os 300 m e os 700 m iniciais da pista de pousos e de decolagens, a partir da cabeceira 13. Essa área corresponde à zona de toque das aeronaves durante seus procedimentos de pouso, caracterizando o trecho mais solicitado do Aeroporto Internacional de Fortaleza.

Apesar da busca intensa desta pesquisa por dados junto à DIRENG e à INFRAERO, referentes aos ensaios de microtextura, a partir daquela realizada em 1990, não foi possível obtê-los. Em virtude disso, por ocasião desta pesquisa, foi realizado um novo levantamento no final do ano de 2007, nos mesmos pontos do levantamento realizado pela DIRENG e utilizando-se a mesma metodologia – avaliação tátil. Os dados constam da Tabela 5.4.

**Tabela 5.4** – Microtextura da pista de pousos e de decolagens, em 2007.

Localização em relação à cabeceira 13 (m)	Classificação da Microtextura	Observações
100 D	Áspera	
300 E	Lisa	Grande contaminação de borracha
500 D	Lisa	Grande contaminação de borracha
700 E	Lisa	Grande contaminação de borracha
900 D	Áspera	
1.000 E	Áspera	
1.300 D	Áspera	
1.500 E	Áspera	
1.700 D	Áspera	
1.900 E	Áspera	
2.100 D	Áspera	
2.500 E	Áspera	

Nesse novo levantamento, ainda permanece a grande contaminação de borracha no mesmo trecho do levantamento anterior, além do que, nesse trecho específico, a microtextura sofreu alterações passando da classificação áspera para lisa. Esse fato deveu-se, provavelmente, ao acúmulo maior de borracha e ao desgaste dos agregados pelo aumento das operações no aeroporto. Segundo dados da INFRAERO (2008a), em 1990 foram registrados cerca de 20,3 mil movimentações de pousos e decolagens, contra 47,3 mil em 2007.

Outro ponto a considerar sobre essa mudança da microtextura pode estar no fato de que a citada pista, em 2004, passou por obras de recuperação, com fresagem de 5 cm do revestimento anterior, num trecho entre os 300 m e 800 m a partir da cabeceira 13, largura de 16 m (8 m para cada lado do eixo) e aplicação de nova camada de Concreto Betuminoso Usinado à Quente – CBUQ.

Para efeito de apresentação dos valores, a ICAO (2002) recomenda que os valores médios dos índices obtidos nas pistas de pousos e de decolagens sejam apresentados para cada terço da pista. Assim, doravante nesta pesquisa, os dados médios referentes à microtextura, à macrotextura e ao coeficiente de atrito também serão disponibilizados para cada terço da pista.

Considerando a recomendação do parágrafo anterior, tem-se os valores de microtextura média para os três terços da pista de pousos e de decolagens do Aeroporto Internacional de Fortaleza, nos anos de 1990 e 2007, apresentados nas Tabelas 5.5 e 5.6, respectivamente.

**Tabela 5.5** – Microtextura dos terços da pista de pousos e de decolagens, em 1990.

Característica	1º Terço	2º Terço	3º Terço
Microtextura Média	Áspera	Áspera	Áspera

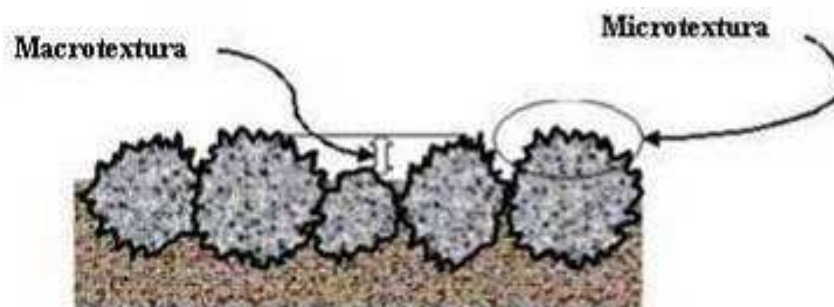
Fonte: DIRENG (1991) – Adaptado.

**Tabela 5.6** – Microtextura dos terços da pista de pousos e de decolagens, em 2007.

Característica	1º Terço	2º Terço	3º Terço
Microtextura Média	Lisa	Áspera	Áspera

### 5.2.2. Macrotextura

Enquanto a microtextura diz respeito ao agregado individualmente, a macrotextura, segundo BERNUCCI *et al.* (2007), é a textura associada à rugosidade do conjunto mástique asfáltico e agregados. Para RODRIGUES FILHO (2006), a macrotextura é representada pela altura média, em mm, do relevo da superfície, conforme a Figura 5.3.



**Figura 5.3** – Detalhe da macrotextura e da microtextura. RODRIGUES FILHO (2006).

A macrotextura é o principal responsável pela drenagem ativa de água da superfície dos pavimentos aeroportuários. Por isso existe a preocupação com relação à impregnação de borracha, já que esse contaminante pode preencher as ranhuras e não permitir o adequado escoamento da água, favorecendo os eventos de aquaplanagem.

Ao proporcionar maior drenagem da água presente na superfície dos pavimentos aeroportuários, para a ICAO (2002), a macrotextura reduz a tendência dos pneus das aeronaves de experimentar a aquaplanagem dinâmica. Esse fenômeno é verificado, de acordo com UBIRATAN (2008), durante os pousos e as decolagens, quando a aeronave encontra-se com velocidade elevada.

A macrotextura, no ponto de vista da FAA (2003b), refere-se à visível e pequena irregularidade da superfície do pavimento, que tem a função primária de formar uma trilha para facilitar o escoamento da água quando da passagem dos pneus das aeronaves.

Em pavimentos asfálticos, o tamanho e a granulometria dos agregados de microtextura áspera são fundamentais para uma boa macrotextura. Uma pobre macrotextura não proporciona uma drenagem adequada para um eficiente contato pneu-pavimento.

Para KAZDA e CAVES (2000), a macrotextura é particularmente importante para as altas velocidades desenvolvidas pelas aeronaves. Nos pavimentos rodoviários, a macrotextura encontrada, na maioria dos casos, é fechada, enquanto que nos pavimentos aeroportuários é aberta. Isso ocorre em virtude da diferença de características de drenagem entre os pneus dos veículos e das aeronaves.

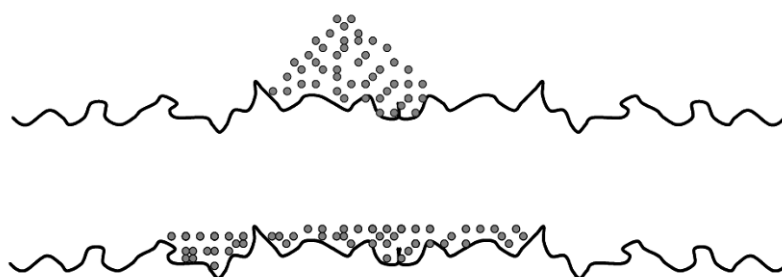
A profundidade da macrotextura da superfície dos pavimentos aeroportuários é um dos fatores que mais afetam a resistência à derrapagem de aeronaves em superfícies

molhadas, pois possibilita maior ou menor perda de energia ao contato com os pneus (FONSECA, 1990).

Quanto à obtenção dos valores de macrotextura, diferentemente da microtextura, existem diversas metodologias recomendadas pela ICAO (2002), como por exemplo: método da mancha de areia, da mancha de graxa, da régua de copiar perfis, do molde, do papel carbono, estereofotográfico, medição direta no pavimento e corrente de água.

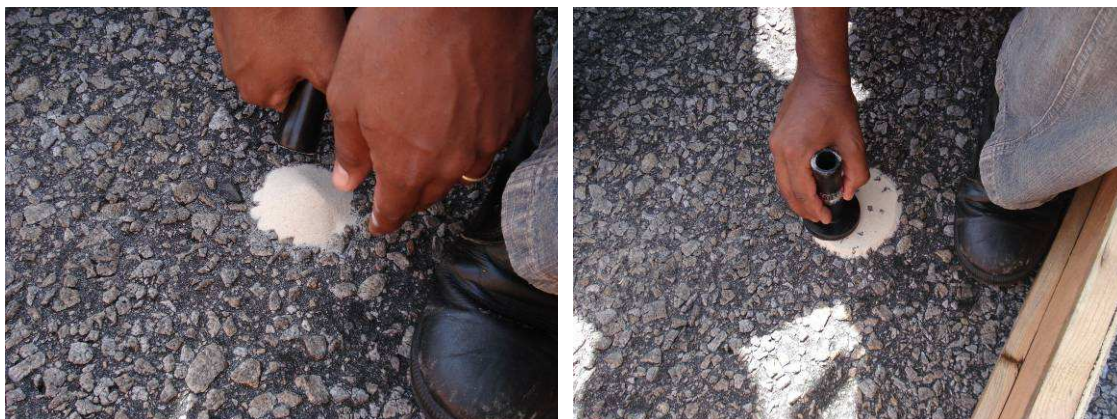
Na opinião da ICAO (2002), dentre essas técnicas, as mais adequadas e utilizadas pelas administrações aeroportuárias, são o método da mancha de areia e o método da mancha de graxa. Nesta pesquisa, serão apresentados valores relativos ao método da mancha de areia, conforme descrito pela ANAC (DAC, 2001) e pela INFRAERO (2007b), análogo ao que é recomendado ICAO (2002).

O ensaio executado pelo método da mancha de areia determina a profundidade média da altura da mancha de areia formada entre os picos e os vales (depressões) da textura da superfície, conforme apresentado por RODRIGUES FILHO (2006) na Figura 5.4.



**Figura 5.4** – Detalhe do preenchimento da areia na textura da superfície, durante ensaio da mancha de areia. RODRIGUES FILHO (2006).

Conforme especificado, o método da Mancha de Areia baseia-se no espalhamento, o mais uniformemente possível, de um volume de 24 cm<sup>3</sup> (24.000 mm<sup>3</sup>) de areia com granulometria contida entre as peneiras 50 e 100, sobre a superfície do pavimento a ser avaliado, em movimentos circulares, com o auxílio de um espalhador com base circular de borracha, conforme ilustrado na Figura 5.5.



**Figura 5.5** – Espalhamento da areia na textura da superfície.

Após o espalhamento, deve-se determinar com uma régua o diâmetro médio do círculo formado em pelo menos três direções distintas, conforme a Figura 5.6.



**Figura 5.6** – Medição do círculo de areia na textura da superfície.

Posteriormente a essa etapa, calcular a área do círculo. A profundidade da textura será a divisão entre o volume conhecido de areia pela área do círculo formado por essa mesma areia, conforme a equação 5.1.

$$T = \frac{96.000}{\pi \times D_m^2} \quad (5.1)$$

em que,

T – profundidade da textura (mm); e,

$D_m$  – diâmetro médio do círculo de areia (mm).

A ANAC (DAC, 2001) e a INFRAERO (2007b) recomendam no mínimo três medições de profundidade da textura, sendo obtida a média dessas medições a cada 100 m a partir da cabeceira mais utilizada da pista, em pontos localizados a 3 m do eixo,

alternadamente à direita e à esquerda deste. Sempre que evidentes falhas da textura superficial forem observadas, um maior número de medições deve ser realizado.

A frequência de medição dos valores de macrotextura nas pistas aeroportuárias está associada às medições de atrito nas mesmas pistas, que serão apresentadas oportunamente neste capítulo.

Quanto à classificação, os valores de macrotextura obedecem ao que se apresenta na Tabela 5.7, de acordo com o estabelecido pela DIRENG (1991) e INFRAERO (2007b).

**Tabela 5.7 – Classificação da Macrotextura**

Conceito	Profundidade Média
Muito Fechada	$T < 0,20 \text{ mm}$
Fechada	$0,20 \text{ mm} < T < 0,40 \text{ mm}$
Média	$0,40 \text{ mm} < T < 0,80 \text{ mm}$
Aberta	$0,80 \text{ mm} < T < 1,20 \text{ mm}$
Muito aberta	$T > 1,20 \text{ mm}$

Fonte: DIRENG (1991) e INFRAERO (2007b)

Para os pavimentos aeroportuários, a recomendação da ANAC (DAC, 2001) é de que a profundidade média da macrotextura para pavimentos flexíveis convencionais não seja inferior a 0,50 mm, ou outro valor especificado em plano especial de manutenção para o aeroporto, quando houver. Em cada oportunidade que esse valor não seja alcançado, é necessária uma ação corretiva apropriada, descrita naqueles planos.

No caso de pavimentos flexíveis novos, de acordo com ICAO (2002 e 2004) e ANAC (DAC, 2001), a macrotextura deve ser de, no mínimo, 1,00 mm. Esse valor, para a FAA (2006a), deve ser de 1,14 mm, pois um valor abaixo desse indica deficiência na macrotextura e deverá requerer correções.

Ainda de acordo com as recomendações da ICAO (2002), o valor de macrotextura menor ou igual a 0,40 mm (macrotextura fechada ou muito fechada), caracteriza um nível de manutenção imediata para os pavimentos, devido à possibilidade de existir um elevado risco de aquaplanagem dinâmica quando da presença de água.

Superfícies com macrotexturas fechada e aberta são nitidamente visualizadas durante os ensaios e apresentam-se, respectivamente, como na Figura 5.7.

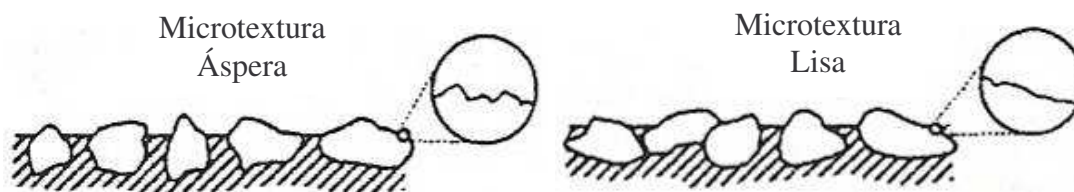


**Figura 5.7** – Superfície com macrotextura fechada e aberta.

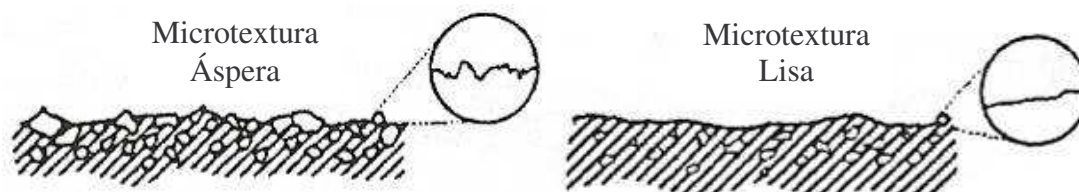
As macrotexturas fechadas formam um diâmetro maior de areia, uma vez que os picos e as depressões da textura da superfície estão preenchidos por algum contaminante, tais como: óleo, combustível, areia e, principalmente, borracha proveniente dos pneus das aeronaves.

Por sua vez, as macrotexturas abertas apresentam um diâmetro menor de areia, por possuírem os picos e as depressões isentos de qualquer material contaminante, sendo preenchidos pela areia durante o ensaio.

KAZDA e CAVES (2000) apresentam esquemas acerca das macrotexturas aberta e fechada, associadas às microtexturas áspera e lisa, através das Figuras 5.8 e 5.9.



**Figura 5.8** – Superfície com macrotextura aberta e diferentes microtexturas. KAZDA e CAVES (2000).



**Figura 5.9** – Superfície com macrotextura fechada e diferentes microtexturas. KAZDA e CAVES (2000).

A DIRENG (1991) executou medição de macrotextura ao longo da pista de pousos e decolagens do Aeroporto Internacional de Fortaleza, em pontos distanciados entre si de 200 m, e situados a 3 m do eixo, alternadamente à direita e à esquerda.

Nota-se que a metodologia empregada pela DIRENG (1991) difere da recomendada pela ANAC (DAC, 2001) e a INFRAERO (2007b), apenas no que diz respeito ao distanciamento dos pontos, que ficou, entre si, a cada 200 m – o recomendado atualmente é de 100 m, permanecendo a alternância entre esquerda (E) e direita (D), ao longo do eixo.

Os valores encontrados no ensaio da mancha de areia realizado pela DIRENG (1991) são os que se apresentam na Tabela 5.8, com seus respectivos diâmetro médio e profundidade média, ambos em mm.

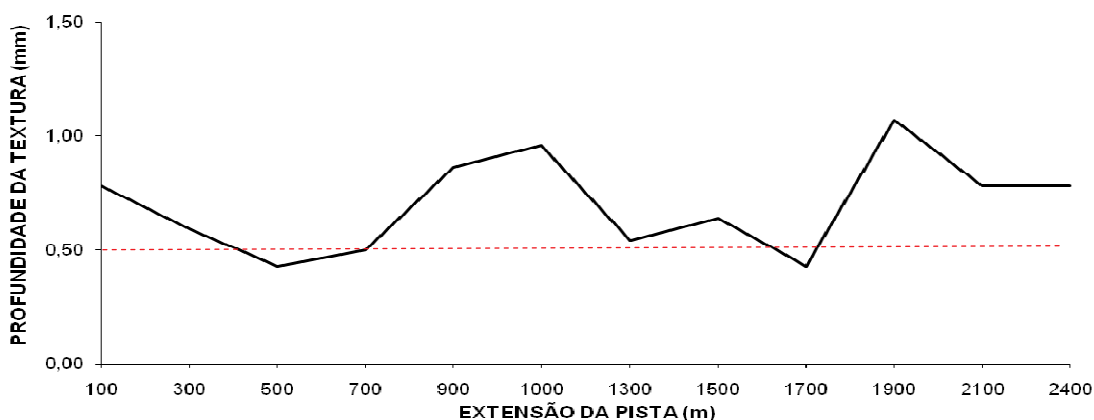
**Tabela 5.8** – Macrotextura da pista de pousos e de decolagens, em 1990.

Localização em relação à cabeceira 13 (m)	Macrotextura	
	Diâmetro Médio (mm)	Profundidade Média (mm)
100 D	200	0,78
300 E	230	0,59
500 D	270	0,43
700 E	250	0,50
900 D	190	0,86
1.000 E	180	0,96
1.300 D	240	0,54
1.500 E	220	0,64
1.700 D	270	0,43
1.900 E	170	1,07
2.100 D	200	0,78
2.400 E	200	0,78

Fonte: DIRENG (1991) – Adaptado.

A representação gráfica da profundidade média da macrotextura ao longo da pista do Aeroporto Internacional de Fortaleza, em 1990, é mostrada na Figura 5.10.





**Figura 5.10** – Gráfico da profundidade média da mancha de areia na pista de pousos e de decolagens, em 1990.

A linha tracejada indica o valor mínimo de 0,50 mm estabelecido. Nota-se que nos ensaios correspondentes aos pontos de 500 m e 1.700 m os valores de macrotextura estão abaixo do recomendado, além do que os pontos dos 700 m e 1.300 m encontram-se um pouco acima do limite mínimo estabelecido.

Ao considerar a macrotextura média de cada terço da pista, tem-se o resumo apresentado na Tabela 5.9.

**Tabela 5.9** – Macrotextura dos terços da pista de pousos e de decolagens, em 1990.

Característica	1º Terço	2º Terço	3º Terço
Macrotextura Média (mm)	0,58	0,75	0,77

Fonte: DIRENG (1991) – Adaptado

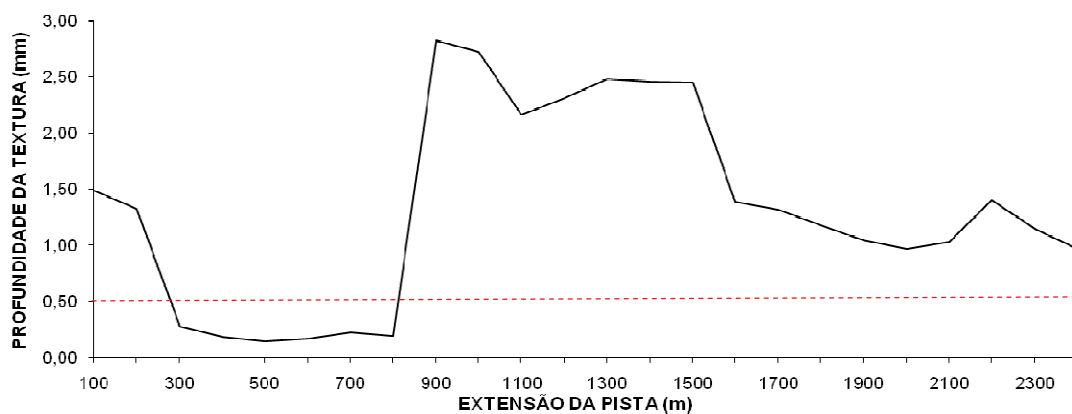
Verifica-se que em todos os terços os valores da macrotextura encontram-se acima de 0,50 mm, apesar das considerações apresentadas anteriormente, sendo que o valor médio para o 1º terço difere bastante dos demais.

A INFRAERO, no ano de 2005, realizou no Aeroporto Internacional de Fortaleza um único ensaio para determinação da macrotextura da pista de pousos e de decolagens. A metodologia empregada foi a recomendada pela ANAC (DAC, 2001) cujos dados encontram-se na Tabela 5.10 e o gráfico correspondente é mostrado na Figura 5.11.

**Tabela 5.10** – Macrotextura da pista de pousos e de decolagens, em 2005.

Localização em relação a cabeceira 13 (m)	Diâmetro Médio (mm)	Profundidade Média (mm)
100	143,22	1,51
200	151,67	1,33
300	327,67	0,29
400	404,89	0,19
500	456,33	0,15
600	421,89	0,17
700	363,11	0,24
800	365,72	0,20
900	104,11	2,86
1000	106,12	2,80
1100	118,89	2,19
1200	115,11	2,34
1300	111,11	2,51
1400	111,44	2,50
1500	111,67	2,49
1600	148,33	1,41
1700	152,33	1,34
1800	160,78	1,20
1900	170,89	1,06
2000	177,33	0,99
2100	172,00	1,05
2200	147,78	1,42
2300	163,11	1,17
2400	177,88	1,01

Fonte: INFRAERO (2008d).



**Figura 5.11** – Gráfico da profundidade média da mancha de areia na pista de pousos e de decolagens, em 2005.

Se considerado a média de cada terço da pista, tem-se o resumo apresentado na Tabela 5.11.

**Tabela 5.11** – Macrotextura dos terços da pista de pousos e de decolagens, em 2005.

Característica	1º Terço	2º Terço	3º Terço
Macrotextura Média (mm)	0,67	2,38	1,17

Fonte: INFRAERO (2008d) – Adaptado

Verifica-se que em todos os terços os valores da macrotextura encontram-se acima da recomendação da ANAC (DAC, 2001) que é de 0,50 mm.

Contudo ao se verificar o gráfico da Figura 5.11, tem-se que o trecho compreendido entre os 300 m e os 800 m, no 1º terço, encontra-se bem abaixo do índice recomendado. A diferença de valores do 1º para o 2º terço é de mais de 3,5 vezes. Esse é o mesmo trecho que apresentou problemas na microtextura, conforme os dados apresentados na Tabela 5.4.

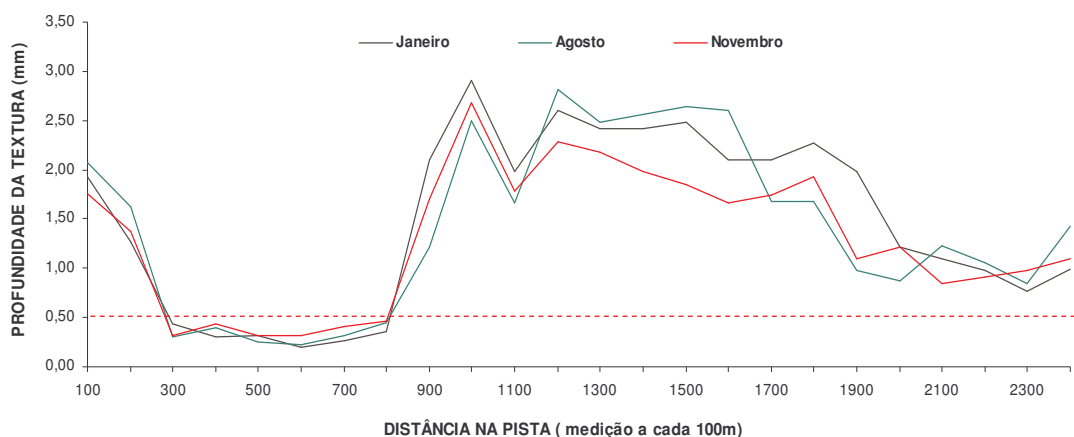
Por ocasião desta pesquisa, a partir de 2007, as avaliações de macrotextura tornaram-se mais efetivas no Aeroporto Internacional de Fortaleza, sendo realizadas conforme a frequência recomendada pela ANAC (DAC, 2001).

Em virtude da situação deficiente de macrotextura e microtextura apresentada pelo 1º terço da pista de pousos e de decolagens, apresentado pelos resultados das tabelas e gráficos anteriores, o acompanhamento da situação tornou-se também mais constante.

Assim, somente no ano de 2008 foram realizados três ensaios distintos nos meses de janeiro, agosto e novembro, tendo os dados obtidos registrados na Tabela 5.12, e apresentados, graficamente, na Figura 5.12.

**Tabela 5.12** – Macrotextura na pista de pousos e de decolagens, em 2007.

Localização em relação a cabeceira 13 (m)	jan/07		ago/07		nov/07	
	Diâmetro Médio (mm)	Profundidade Média (mm)	Diâmetro Médio (mm)	Profundidade Média (mm)	Diâmetro Médio (mm)	Profundidade Média (mm)
100	126,67	1,93	120,00	2,15	143,33	1,51
200	156,67	1,26	138,33	1,62	150,00	1,38
300	307,68	0,35	321,67	0,30	310,00	0,32
400	390,00	0,20	281,67	0,39	268,33	0,43
500	311,67	0,32	348,33	0,26	313,33	0,32
600	390,00	0,20	371,67	0,22	313,33	0,32
700	393,33	0,20	315,00	0,31	273,33	0,41
800	336,67	0,27	340,25	0,35	339,17	0,37
900	121,67	2,09	160,00	1,21	135,00	1,70
1000	103,33	1,90	131,67	1,79	128,33	1,88
1100	125,00	1,98	136,67	1,66	131,67	1,79
1200	113,33	2,41	105,00	2,81	124,17	2,01
1300	113,33	2,41	111,67	2,49	119,17	2,18
1400	113,33	2,41	110,00	2,56	129,33	1,85
1500	111,67	2,49	108,33	2,64	129,33	1,85
1600	121,67	2,09	109,17	2,60	136,67	1,66
1700	121,67	2,09	135,83	1,68	133,33	1,74
1800	116,67	2,28	135,83	1,68	126,67	1,93
1900	125,00	1,98	178,33	0,97	168,33	1,09
2000	160,00	1,21	189,17	0,87	160,00	1,21
2100	168,33	1,09	159,17	1,22	191,67	0,84
2200	178,33	0,97	170,83	1,06	184,17	0,91
2300	201,67	0,76	190,83	0,85	178,33	0,97
2400	176,67	0,99	147,50	1,42	168,33	1,09

**Figura 5.12** – Gráfico da profundidade média da mancha de areia na pista de pousos e decolagens, em 2007.

Assim como para o levantamento de 2005, o trecho incluído no 1º terço, entre os 300 m e os 800 m, encontra-se bem abaixo do índice recomendado.

Da mesma forma, pode-se observar que os valores de macrotextura desses pontos vão apresentando uma pequena, porém perceptível, melhora ao longo dos levantamentos. Tal fato deve-se, possivelmente, aos serviços de remoção de borracha acumulada na superfície que foram realizados nos mesmos meses do levantamento, ou seja, em janeiro, agosto e novembro de 2007.

A Tabela 5.13 apresenta os dados de 2007 referentes à média da macrotextura em cada terço da pista de pousos e de decolagens.

**Tabela 5.13** – Macrotextura dos terços da pista de pousos e de decolagens, em 2007.

Macrotextura Média (mm)	1º Terço	2º Terço	3º Terço
Janeiro/07	0,69	2,22	1,42
Agosto/07	0,84	2,22	1,22
Novembro/07	0,75	1,87	1,23

Fonte: INFRAERO (2008d).

Após a obtenção desses valores desde 1990, é possível apresentar um resumo com todos os valores médios de macrotextura de cada terço da pista de pousos e de decolagens do Aeroporto Internacional, que se apresentam na Tabela 5.14

**Tabela 5.14** – Resumo dos valores de macrotextura para cada terço da pista de pousos e de decolagens, desde 1990.

Macrotextura Média (mm)	1º Terço	2º Terço	3º Terço
Dezembro/90	0,58	0,75	0,77
Novembro/05	0,67	2,38	1,17
Janeiro/07	0,69	2,22	1,42
Agosto/07	0,84	2,22	1,22
Novembro/07	0,75	1,87	1,23

É possível constatar pelos resumos dos valores da Tabela 5.14 que o 1º terço a partir da cabeceira 13 da pista de pousos e de decolagens do Aeroporto Internacional de Fortaleza, se comparado aos demais terços, é deficiente no que diz respeito às características de textura superficial – microtextura e macrotextura.

### 5.3. COEFICIENTE DE ATRITO

As características de atrito dos pavimentos aeroportuários, especialmente nas pistas de pousos e decolagens, podem afetar sobremaneira a segurança das operações das aeronaves. Dependendo das condições encontradas nesses pavimentos, uma condição de atrito deficiente pode gerar graves incidentes ou até mesmo acidentes com inúmeras vítimas fatais.

Informações da ICAO (2002) mostram que os incidentes e acidentes relacionados à saída ou derrapagem de aeronaves das pistas de aeroportos, indicam que, na maioria dos casos, a causa principal, ou pelo menos um dos fatores contribuintes, foram as características de atrito das pistas sobre a eficácia dos freios das aeronaves.

As fotografias da Figura 5.13 apresentam exemplos de acidentes envolvendo derrapagem de aeronaves durante os procedimentos de pouso e/ou de decolagem nas pistas aeroportuárias.



**Figura 5.13** – Acidentes aéreos envolvendo derrapagem de aeronaves. DESASTRESAEREOS (2008).

O atrito é caracterizado pelo seu coeficiente, simbolizado pela letra grega  $\mu$ . Na definição da ICAO (2002), tem-se que:

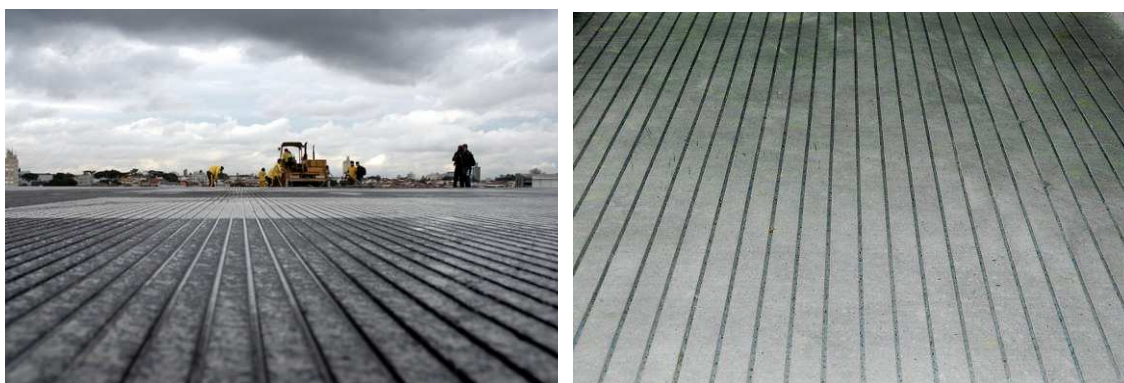
“O coeficiente de atrito é a relação entre a força tangencial necessária para manter um movimento relativo uniforme entre as duas superfícies em contato (os pneus da aeronave e a superfície do pavimento) e a força perpendicular que as mantém em contato (peso distribuído do avião sobre a área dos pneus do avião).”

Para WELLS e YOUNG (2004), o atrito da superfície das pistas aeroportuárias permite que as aeronaves acelerem durante o procedimento de decolagem, assim como

desacelerem seguramente após o pouso. A ausência de um efetivo coeficiente de atrito nessas pistas proporciona ocorrências de derrapagem, deslizamento ou aquaplanagem, com a conseqüente perda de controle das aeronaves na superfície.

Para reduzir a ocorrência de aquaplanagem e, por conseqüência, aumentar o coeficiente de atrito das pistas aeroportuárias, WELLS e YOUNG (2004) sugerem a execução de *grooving* como o método mais efetivo e econômico.

O *grooving*, do inglês ranhura, consiste em pequenos sulcos transversais feitos na superfície do pavimento, seja rígido ou flexível, conforme mostrado na Figura 5.14, para facilitar o escoamento da água acumulada.



**Figura 5.14** – Exemplos de *grooving* em pavimentos aeroportuários. AGÊNCIA BRASIL (2008) e AGMAP (2008).

RODRIGUES FILHO (2006) ressalta que apesar dos canais transversais formados, o *grooving* não tem o mesmo sentido físico de uma textura superficial grossa formada por agregados graúdos e que dispõe de inúmeros canais de circulação e escoamento da água.

Para a FAA (2003b), o *grooving* deveria ser realizado durante o processo construtivo de uma nova pista de pouso e de decolagens. Para pistas em uso, antes de sua execução, é necessário considerar alguns fatores, tais como: histórico de acidentes e incidentes relacionados à aquaplanagem, frequência de chuvas na região (precipitações e intensidade), defeitos na superfície que impedem o adequado escoamento da água, dimensões e capacidade estrutural, qualidade da textura da superfície, dentre outros, já que, após executado, o *grooving* poderá não surtir o efeito desejado

A configuração padrão das especificações para execução de *grooving* em pistas aeroportuárias, pela FAA (2003b), é de 6 mm ( $\pm 1,6$  mm) de profundidade por 6 mm ( $\pm 1,6$  mm) de largura, de forma contínua em toda a sua extensão e transversal ao sentido das operações de pousos e de decolagens.

O Aeroporto Internacional de Fortaleza não dispõe de *grooving* em nenhum de seus pátios e/ou pistas. Da mesma forma, esta pesquisa não encontrou quaisquer registros sobre a sua existência ou execução em épocas passadas ou recentes, desde sua construção.

Além do *grooving*, existem outros fatores que reforçam o coeficiente de atrito nas pistas aeroportuárias, tais como a manutenção da textura superficial formada, conforme descrito anteriormente, pela microtextura e pela macrotextura.

O coeficiente de atrito, na opinião de FONSECA (1990), é o resultado da ação combinada da microtextura e da macrotextura. Para KAZDA e CAVES (2000), o efeito da microtextura e da macrotextura sobre o coeficiente de atrito das pistas aeroportuárias depende da velocidade das aeronaves e das características de drenagem dos pavimentos.

Nos Estados Unidos, a FAA conduziu durante dois anos um programa de avaliação das condições de atrito dos pavimentos de 268 aeroportos, num total de 491 pistas de pousos e de decolagens. As informações obtidas por ocasião desse programa resultaram em uma ampla coleção de dados. Observações das condições de superfície dos pavimentos das pistas, além de ensaios de campo, através da medição do coeficiente de atrito, identificaram que aquelas áreas encontravam-se com nível de atrito abaixo do mínimo aceitável. Os dados coletados foram repassados aos respectivos administradores aeroportuários para que fossem providenciadas medidas corretivas adequadas com o objetivo de eliminar essa deficiência.

As características de atrito das pistas de pousos e decolagens mudam com o tempo e em virtude de outras questões como o tipo e frequência das aeronaves, condições climáticas e ambientais, presença de contaminantes, dentre outras. É preciso, então, provê-las adequadamente de forma que se garantam as condições mínimas de segurança operacional às aeronaves que utilizam essas pistas, evitando os acidentes.



As administrações aeroportuárias devem reconhecer sua responsabilidade sobre os pavimentos dos aeroportos e, efetivamente, pôr em prática as atividades previstas no SGPA, em especial a avaliação e a manutenção, como forma de prevenção de maiores problemas em situações posteriores.

No Brasil, a ANAC (DAC, 2001) recomenda que os aeródromos brasileiros devam possuir pistas de pousos e de decolagens mantidas de forma a atender aos requisitos de textura superficial e de atrito, quando operarem em pistas molhadas.

As considerações de ordem operacional, segundo a ICAO (2002), determinam o método mais adequado que deve ser utilizado em determinado aeroporto. As medições devem ser realizadas, preferencialmente, através de dispositivos que permitam a medição contínua do atrito em toda a extensão da pista.

A ICAO (2004) define valores de coeficiente de atrito para pavimentos com novas superfícies e para dois níveis distintos: o nível mínimo e o nível de planejamento de manutenção. Este nível é aquele no qual se devem planejar ações corretivas que não permitam sua redução. Esses valores se alteram conforme o tipo de equipamento teste utilizado, de acordo com o que se apresenta na Tabela 5.15.

**Tabela 5.15** – Valores de coeficientes de atrito.

Equipamento de Medição	Pressão dos Pneus (kpa)	Coeficiente de Atrito		
		Novas Superfícies	Nível de Planejamento de Manutenção	Nível de Atrito Mínimo
<i>Mu-Meter</i>	70	0,72	0,52	0,42
<i>Skiddometer</i>	210	0,82	0,60	0,50
<i>Trailer</i>	210	0,82	0,60	0,50

Fonte: ICAO (2004) – Adaptada.

Os valores da Tabela 5.15 somente são válidos para as medições realizadas conforme a metodologia descrita nos parágrafos posteriores deste item. Outros equipamentos são recomendados pela ICAO (2004), porém aqui foram apresentados somente aqueles de utilização mais frequentes pelas administrações aeroportuárias brasileiras, inclusive a do Aeroporto Internacional de Fortaleza.

Os mesmos equipamentos de medição da Tabela 5.15 são mencionados pela INFRAERO (2007b), assim como as referências aos valores do coeficiente de atrito.

Exceção é feita aos valores do coeficiente de atrito para pavimentos com novas superfícies, para os quais não há quaisquer indicações ou recomendações.

No Brasil, a ANAC (DAC, 2001), especifica a utilização do equipamento conhecido por *Mu-Meter*, mostrado na Figura 5.15.



**Figura 5.15** – Equipamento *Mu-Meter*. DOUGLAS EQUIPMENT (2008).

Segundo RODRIGUES FILHO (2006), o *Mu-Meter* é um equipamento rebocável, com peso total em torno de 245 kg, composto de três rodas - duas laterais dedicadas a medir o coeficiente de atrito e a terceira central para medição das distâncias percorridas. Os pneus laterais são calibrados com 70 kpa e o central com 210 kpa.

Para DOUGLAS EQUIPMENT (2008) é preciso realizar a calibração da referência zero e/ou calibrar o equipamento utilizando a tábua de calibração, cujo valor padrão é igual a  $\mu = 0.77$ , observando a tolerância admitida pelo fabricante.

Na metodologia do ensaio, as medições devem ser realizadas pelo equipamento acoplado a um veículo rebocador, na velocidade de 65 km/h, em toda extensão da pista, com início pela cabeceira de maior predominância operacional – aquela na qual as aeronaves efetuam mais constantemente seus pousos e decolagens, em alinhamentos paralelos, distantes 3 m de cada lado do eixo da pista, na presença de uma lâmina d'água de 1 mm de espessura. O levantamento do coeficiente deve ocorrer em pontos distanciados entre si de 10 m.

Para que seja mantida a lâmina d'água na espessura desejada na velocidade desenvolvida pelo veículo, é preciso regular a vazão de água para aproximadamente 213 litros/min. nos dois bicos espargidores, observando o funcionamento estável do

motor. A válvula para expedição de água deve ser aberta um pouco antes do ponto de referência determinado para início da medição, pois a mesma tem um retardo de tempo para circulação de água pelas mangueiras e tubulações até chegar ao ponto de saída, composto por dois bicos espargidores.

Apesar da recomendação da ANAC (DAC, 2001), algumas administrações aeroportuárias brasileiras já utilizam os demais equipamentos apresentados na Tabela 5.16, como o *Skidometer* mostrado na Figura 5.16.



**Figura 5.16** – Equipamento *Skidometer*.

O *Skidometer*, assim como o *Mu-Muter*, é um equipamento rebocável, porém com cerca de 400 kg de peso total. Diferentemente do *Mu-Muter*, possui cinco rodas: duas laterais para medição do deslocamento, duas para o tanque de água e uma central responsável por medir o atrito. A calibração dos pneus, segundo INFRAERO (2007b), é distribuída da seguinte forma: 170 kPa nas rodas laterais, 450 kPa nas rodas do tanque de água e 210 kPa na roda central de medição de atrito.

Além disso, o equipamento possui um tanque de d'água de aproximadamente 1.200 litros. Segundo INFRAERO (2007b), o fabricante recomenda que a pressão de ar comprimido dos amortecedores traseiros da estrutura do tanque de água, esteja entre 120 a 150 kPa.

A metodologia do ensaio utilizando-se o *Skidometer*, com relação à velocidade, espargimento da lâmina d'água, dentre outros, é a mesma para o *Mu-Muter*.

Para a FAA (2003b) e a ICAO (2002), a periodicidade dos serviços é função da quantidade de pousos diários das aeronaves na pista do aeroporto, no sentido da cabeceira mais utilizada, conforme o disposto na Tabela 5.16.

**Tabela 5.16 – Frequência das Medições de Atrito**

Pouso diário das aeronaves	Frequência das medições
Menos de 15	1 ano
16 a 30	6 meses
31 a 90	3 meses
91 a 150	1 mês
151 a 210	2 semanas
Mais de 210	1 semana

Fonte: FAA (2003b) e ICAO (2002).

Para a ANAC (DAC, 2001), além da quantidade de pousos diários, deve-se considerar o tipo de revestimento do pavimento, conforme a Tabela 5.17.

**Tabela 5.17 – Frequência das Medições de Atrito no Brasil**

Pouso diário das aeronaves	Frequência das medições	
	Pavimentos Não-Estriados (Sem Tratamento Superficial)	Pavimentos Estriados ou com Camada Porosa de Atrito
Menos de 50	Cada 12 meses	Cada 12 meses
51 a 250	Cada 6 meses	Cada 9 meses
251 a 450	Cada 4 meses	Cada 6 meses
451 a 700	Cada 3 meses	Cada 4 meses
701 ou mais	Cada 3 meses	Cada 3 meses

Fonte: DAC (2001).

No Aeroporto Internacional de Fortaleza, considerando a média de 65 pousos/dia, registrados em 2007, conforme INFRAERO (2008a), a frequência das medições, de acordo com a Tabela 5.17, deveria ocorrer a cada seis meses. Contudo, em virtude dos baixos valores de coeficiente de atrito e de macrotextura obtidos dos levantamentos apresentados nesta pesquisa, a INFRAERO resolveu que as medições ocorreriam a cada quatro meses, ou em três oportunidades durante o ano.

A ANAC (DAC, 2001), diferentemente do estabelecido na Tabela 5.15, considera como nível de planejamento de manutenção o valor do coeficiente de atrito de 0,50, quando utilizado o equipamento *Mu-Muter*. Exceção é feita para aeroportos que

possuam planos de manutenção específicos que devem definir um valor, de acordo com suas condições operacionais.

Esse mesmo índice foi considerado pela DIRENG (1991) quando da realização do levantamento do coeficiente de atrito no Aeroporto Internacional de Fortaleza, com a utilização do *Mu-Muter*, ao longo de toda extensão da pista de pousos e decolagens, em duas faixas situadas a 3 m do eixo, em sentidos distintos. Os dados obtidos nesse levantamento são apresentados na Tabela 5.18.

**Tabela 5.18** – Coeficiente de atrito dos terços da pista de pousos e de decolagens, em 1990.

Sentido	1º Terço	2º Terço	3º Terço
Cabeceira 13 para 31	0,54	0,61	0,57
Cabeceira 31 para 13	0,58	0,56	0,58
Média	0,56	0,59	0,58

Fonte: DIRENG (1991).

Quanto ao sentido de medição do coeficiente de atrito, é importante ressaltar que independente do deslocamento realizado pelo equipamento, os terços são sempre relativos à cabeceira de maior predominância operacional. No caso do Aeroporto Internacional de Fortaleza, essa cabeceira é a de número 13, conforme será visto posteriormente. Assim, quando o equipamento desloca-se da cabeceira 31 para 13, por exemplo, o resultado para o primeiro terço medido é, na verdade, o do terceiro terço.

Se considerado o valor do coeficiente de atrito mínimo de 0,50, recomendado pela ANAC (DAC, 2001), verifica-se através da Tabela 5.18 que a pista de pousos e de decolagens do Aeroporto Internacional de Fortaleza encontrava-se acima do nível recomendado.

As conclusões da DIRENG (1991) quanto ao coeficiente de atrito da pista de pouso e de decolagem do Aeroporto Internacional de Fortaleza foram de que o pavimento apresentava adequada segurança a aquaplanagem.

Entretanto, para a própria DIRENG (1991) um irregular coeficiente de atrito não é o único elemento potencial para a ocorrência de aquaplanagem. É preciso, ainda, avaliar diferentes parâmetros como a textura superficial, as declividades longitudinais e

transversais e as bacias de deformação permanentes que propiciam o acúmulo de água na superfície do pavimento.

Valores de coeficiente de atrito superiores a 0,50, de acordo com DIRENG (1991), são tidos como adequado para prover o atrito necessário às mais variadas condições de operação. Contudo, quando esse valor decresce para 0,49, o pavimento não passa de totalmente adequado para totalmente inadequado. A ação corretiva somente deve ser levada a efeito quando o coeficiente de atrito for menor que 0,50 em um trecho de pista de extensão maior que 100m (DAC, 2001).

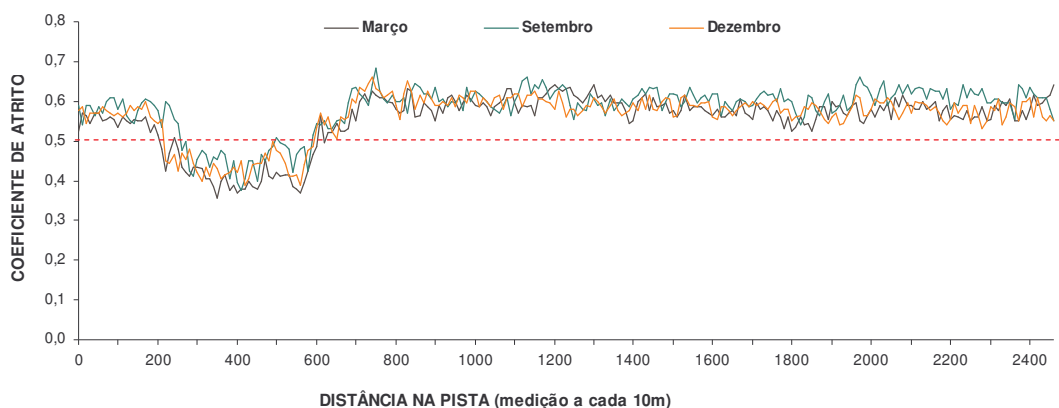
Em Fortaleza, esta pesquisa encontrou dados de coeficientes de atrito realizados em novembro de 2002, julho e novembro de 2005, e, em março, setembro e dezembro de 2007, obtidos para efeito desta pesquisa sendo apresentados na Tabela 5.19.

**Tabela 5.19** – Resumo dos valores de coeficiente de atrito dos terços da pista de pousos e de decolagens.

Mês/Ano	1º terço	2º terço	3º terço	Equipamento
Novembro/02	0,63	0,64	0,64	<i>Mu-Muter</i>
Janeiro/04	0,64	0,68	0,65	<i>Mu-Muter</i>
Junho/05	0,41	0,66	0,65	<i>Mu-Muter</i>
Novembro/05	0,45	0,61	0,59	<i>Mu-Muter</i>
Março/07	0,48	0,61	0,62	<i>Mu-Muter</i>
Setembro/07	0,55	0,60	0,56	<i>Skiddometer</i>
Dezembro/07	0,53	0,58	0,55	<i>Trailer</i>

Nas três medições realizadas em 2007, apesar dos valores do 1º terço encontrarem-se acima do nível mínimo estabelecido pela ANAC (DAC, 2001), eles estão inferiores aos demais terços. Ressalte-se, contudo, que os valores de todos os meses encontram-se abaixo do nível de planejamento de manutenção, apresentado na Tabela 5.15, o que requer planos para aplicação de ações corretivas que não permitam sua redução.

Isso porque, conforme mostrado no gráfico da Figura 5.17, os pontos compreendidos entre os 300 m e os 800 m iniciais da pista de pousos e decolagens apresentaram valores bem inferiores ao nível mínimo.



**Figura 5.17** – Gráfico dos valores de coeficiente de atrito na pista de pousos e de decolagens, em 2007.

Ressalte-se que apesar das medições do coeficiente de atrito terem sido efetuados com equipamentos distintos, verificou-se que os valores da média geral permaneceram praticamente inalterados.

Quando o valor do coeficiente de atrito for inferior ao nível de planejamento de manutenção, a ANAC (DAC, 2001) recomenda às administrações aeroportuárias a solicitação de expedição de Aviso aos Aeronavegantes – NOTAM (*Notice do Air Man*). Esse documento objetiva apresentar informações de caráter preventivo aos pilotos das aeronaves sobre a situação operacional das pistas que se encontram escorregadias quando molhadas.

Apesar dos valores de coeficiente de atrito, se considerado a média de cada terço, encontrarem-se acima do nível mínimo estabelecido, existe publicado para o Aeroporto Internacional de Fortaleza um NOTAM (DECEA, 2008), em virtude dos baixos valores de atrito, assim como de macrotextura, em pontos específicos no 1º terço da pista de pouso e de decolagem, informando que essa área encontra-se escorregadia quando molhada.

#### **5.4. AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE SUPERFÍCIE**

Para FONSECA (1990), as atividades sistemáticas de avaliação dos pavimentos, realizadas obedecendo-se a uma programação pré-estabelecida e periodicamente atualizada, permitem a verificação de defeitos em seus estágios iniciais. Tal fato

possibilita a adoção de medidas preventivas e/ou corretivas em tempo adequado à promoção das condições permanentes de segurança às operações aéreas.

De acordo com ANDUZE, KATO e ALEMÃO (1981), o desgaste da superfície do revestimento das pistas aeroportuárias constituem deficiências que, com maior ou menor intensidade, ocorrerão durante a vida útil de um pavimento, como consequência natural do seu tempo de uso da intensidade do tráfego e de possíveis causas ligadas a imperfeições havidas durante o processo construtivo.

A avaliação dos pavimentos, segundo a opinião da DIRENG (1978), é importante como subsídio ao planejamento a longo prazo e na programação de procedimentos de manutenção dos pavimentos. Contudo, a avaliação não é um procedimento preciso.

Em 1978 foi realizado pela DIRENG um levantamento das condições da infraestrutura do Aeroporto Internacional de Fortaleza. Naquela ocasião, com um movimento operacional de aproximadamente 390 mil operações anuais, a pista de pousos e de decolagens apresentava-se em bom estado de conservação com apenas um pequeno desgaste na zona de toque da cabeceira 13. Quanto às cabeceiras, a 31 estava em bom estado e a 13 apresentava algumas quebras de parte das placas de concreto, além de trincas e crescimento de vegetação entre essas placas.

No ano seguinte e em 1985, a DIRENG (1979 e 1985) realizou novos estudos e levantamentos das condições da superfície, concluindo que a situação permanecia semelhante ao primeiro levantamento, estando o pavimento da pista de pousos e de decolagens do Aeroporto Internacional de Fortaleza em boas condições operacionais.

Nesta etapa de levantamento das condições, na opinião da ICAO (1997), é que se realizam investigações de macro e microtexturas, potencial de aquaplanagem, irregularidades e coeficientes de atrito no pavimento.

Para a avaliação das condições de superfície da pista de pousos e de decolagens do Aeroporto Internacional de Fortaleza, inicialmente, esta pesquisa propôs uma inspeção baseada na metodologia do Índice de Condição do Pavimento (*Pavement Condition Index – PCI*).



O PCI, de acordo com a ICAO (1997), foi desenvolvido durante os anos de 1974 a 1976 sob responsabilidade do Centro de Engenharia Civil da Força Aérea dos Estados Unidos. O método foi desenvolvido em escritório, experimentado na prática e validado através do trabalho de muitos engenheiros experientes em nove aeroportos e mais de 100 pavimentos localizados nas mais diferentes condições climáticas e submetidos em distintas intensidades de tráfego.

Esse índice se propõe a determinar o estado atual de um pavimento em termos de sua integridade estrutural e nível de serviço. Fornece, ainda, uma referência numérica para as quantidades, os tipos e as severidades dos defeitos identificados no pavimento inspecionado e, por sua vez, indica a condição do pavimento.

Para o levantamento das condições de superfície é necessário designar as características de cada tipo de pavimento. Cada facilidade como as pistas de pousos e de decolagens, de taxiamento e os pátios de estacionamento precisa ser dividida em segmentos ou características que são definidos em termos de projeto, histórico de construção e manutenção, levantamentos anteriores, condições gerais e de tráfego – tipos de aeronaves, operações e frequências de uso, dentre outras.

Após análise das características recomendadas no parágrafo anterior, o primeiro passo na metodologia consiste em separar cada superfície a ser avaliada em unidades de amostra que devem possuir área que dependem do tipo de pavimento – rígido ou flexível. O ideal é que todas as unidades de amostra sejam avaliadas, porém, em muitas ocasiões, a indisponibilidade de tempo, de recursos materiais, humanos ou financeiros inviabiliza o levantamento total, principalmente se considerada áreas pavimentadas de aeroportos.

Para esse caso, USACE (1989) sugere a utilização de um plano estatístico para seleção de um número mínimo de unidades de amostra para o levantamento, desde que as unidades não sejam inferiores a cinco, onde, nesses caso, todas deverão ser avaliadas.

Após a seleção das unidades de amostra a serem levantadas, identificar os tipos de defeitos e o grau de severidade – baixo (B), médio (M) ou alto (A), de acordo com os apresentados no manual apresentado por USACE (1989).

Em seguida, procura-se quantificar os defeitos apresentando-os através da densidade da área afetada. Para cada defeito e seu respectivo grau de severidade associado àquela densidade, existe um gráfico que mostra um número denominado como Valor Deduzido. Depois é preciso realizar o somatório desses valores deduzidos para se obter o Valor Deduzido Total – VDT.

Posteriormente, ajusta-se, através de um gráfico específico, o VDT para um Valor Deduzido Corrigido – VDC, sempre que a quantidade de Valores Deduzidos forem superiores a classificação cinco. Após obter o VDC, procede-se à obtenção do valor do PCI através da equação (5.2):

$$\text{PCI} = 100 - \text{VDC} \quad (5.2)$$

em que,

PCI = índice de condição do pavimento; e,

VDC = valor deduzido corrigido.

Os valores do PCI variam de 0 para um pavimento em péssimas condições a 100 para uma condição excelente do pavimento, conforme a Tabela 5.20.

**Tabela 5.20 – Classificação do PCI.**

Classificação	PCI
Excelente	86 – 100
Muito Bom	71 – 85
Bom	56 – 70
Regular	41 – 55
Ruim	26 – 40
Muito Ruim	11 – 25
Péssimo	0 – 10

Fonte: SHAHIN (2005) – Adaptado.

O uso do PCI, segundo SHAHIN (2005), para pavimentos de aeroportos, rodovias e estacionamentos tem recebido grande aceitação por várias agências nos Estados Unidos, como a FAA e o Departamento de Defesa (*The United States Department of Defense*), dentre outras, que adotam sua metodologia.

No Brasil, a INFRAERO adotou o uso do PCI em meados da década de 2000 quando necessitou de informações de diversos aeroportos da rede para implementação

do SGPA baseado principalmente nesse índice. Os dados obtidos, naquela ocasião, são os apresentados na Tabela 5.21.

**Tabela 5.21** – Condição dos pavimentos da rede INFRAERO, em 2002.

Conceito	Avaliação (%)
Excelente	41,61
Muito Bom	25,33
Bom	14,82
Regular	8,00
Ruim	4,66
Muito Ruim	3,76
Péssimo	1,82

Fonte: INFRAERO (2008d)

No Aeroporto Internacional de Fortaleza, esse levantamento foi executado por empresa contratada pela INFRAERO, em todos os pavimentos do aeroporto. Para efeito desta pesquisa, os valores percentuais apresentados na Tabela 5.22 são aproximados e foram extraídos de uma planta baixa impressa. Os percentuais mostrados foram obtidos subjetivamente das áreas classificadas naquela planta baixa (INFRAERO, 2003) e, portanto, representam uma aproximação dos valores reais.

**Tabela 5.22** – PCI dos pavimentos do Aeroporto Internacional de Fortaleza, em 2003.

Conceito	Avaliação (%)
Excelente	30,00
Muito Bom	40,00
Bom	20,00
Regular	0,00
Ruim	0,00
Muito Ruim	7,50
Péssimo	2,50

Pela INFRAERO (2003), no que diz respeito à pista de pousos e de decolagens, o PCI constatou que a faixa central a partir da cabeceira 13 encontrava-se no estado muito bom, assim como a própria cabeceira. As faixas esquerda e direita em situação excelente. A cabeceira 31 variando de bom na faixa esquerda a excelente na faixa central e direita. Foram classificados como péssimos trechos parciais da *taxiway* “E” e

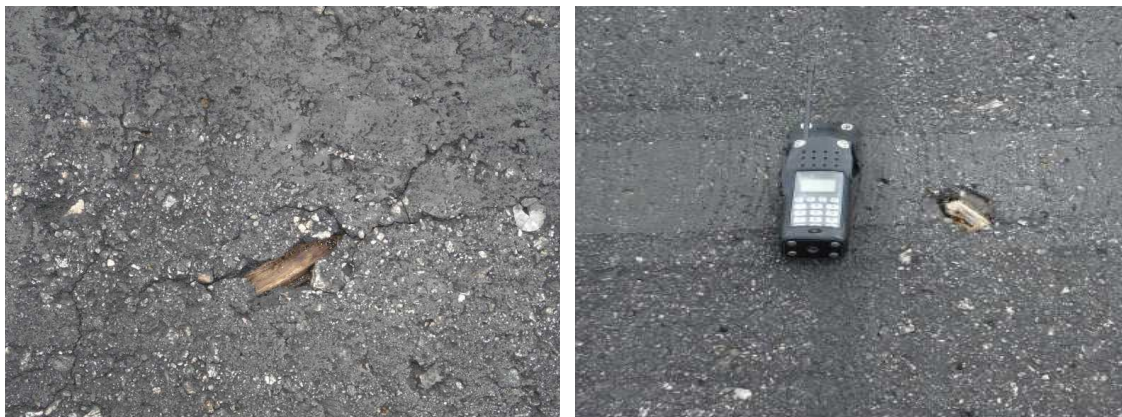


longitudinais e transversais longas de aproximadamente 1 m de extensão, porém de baixa severidade; presença de desagregações e desintegrações de severidade média; trincas couro de jacaré; trincas de reflexão; afundamentos de trilha de roda que variavam de 15 a 30 m de comprimento por 5 mm de profundidade, e; grande concentração de borracha.

Não sendo possível o levantamento das condições do pavimento através do PCI, procedeu-se a um levantamento visual dos defeitos, sendo listados os principais: trincas transversais e longitudinais (Figura 5.19), contaminação por presença de material orgânico (Figura 5.20), trincas de reflexão, principalmente nas cabeceiras da pista, em virtude da sobreposição da camada asfáltica sobre as placas de concreto (Figura 5.21), desgastes (Figura 5.22), desagregações (Figura 5.23), buracos (Figura 5.24) e o maior e mais constante, a borracha impregnada (Figura 5.25).



**Figura 5.19** – Trincas longitudinais e transversais.



**Figura 5.20** – Contaminação por presença de material orgânico.



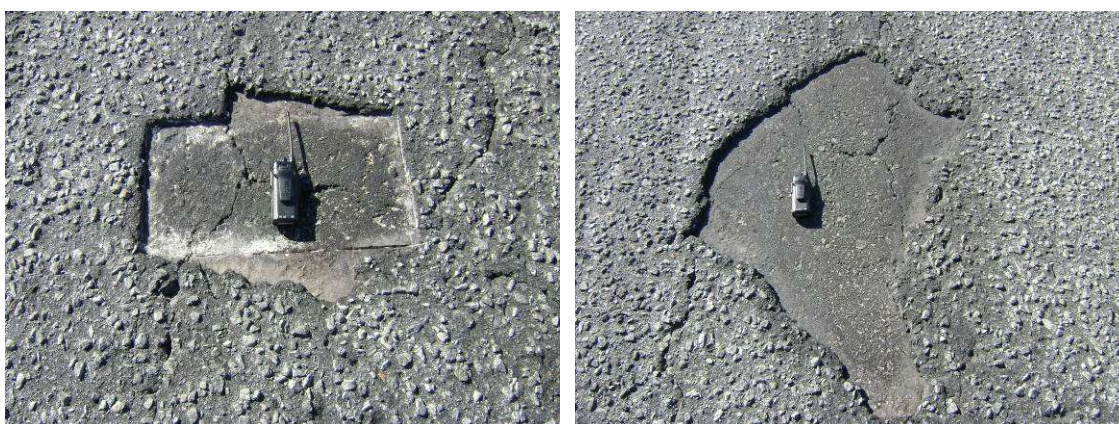
**Figura 5.21** – Trincas de reflexão nas cabeceiras da pista



**Figura 5.22** – Desgastes



**Figura 5.23 – Desagregações.**



**Figura 5.24 – Buracos**



**Figura 5.25 – Impregnação de borracha**

## **5.5. CONSIDERAÇÕES SOBRE A REMOÇÃO DE BORRACHA**

Dentre os diversos contaminantes encontrados nos pavimentos aeroportuários, aquele que é identificado com maior constância e que altera significativamente as

características de textura superficial, e por sua vez, o coeficiente de atrito é a borracha impregnada na sua superfície.

Segundo SPEIDEL (2002), existem diversos fatores que contribuem para a deterioração da superfície dos pavimentos, mas a acumulação de borracha nos pavimentos das pistas de pousos e de decolagens é uma das mais fáceis de reconhecer, simples de se corrigir e com um custo de remoção ou extinção relativamente inexpressivo.

Como afirmado anteriormente, a borracha é proveniente dos pneus das aeronaves quando de suas operações pelas pistas de pousos e de decolagens, sobretudo durante os procedimentos de pousos, haja vista a intensa interação pneu-pavimento.

A impregnação da borracha no pavimento ocorre principalmente na zona ou ponto de toque das aeronaves nas pistas de pousos dos aeroportos. Essa região corresponde, como apontado em itens anteriores, ao primeiro terço do comprimento total de uma pista, em ambos os sentidos de suas cabeceiras.

Cerca de 700 g de borracha, de acordo com SPEIDEL (2002), são depositadas por pneu em cada pouso de uma aeronave de grande porte carregada, como o Boeing 747, que possui um peso máximo para decolagem de cerca de 400 toneladas.

Depositada nessas pistas, a borracha contribui para a diminuição do atrito do pavimento, principalmente quando molhado, colocando em risco as operações de pouso e de decolagens das aeronaves, podendo inclusive favorecer a ocorrência de aquaplanagem. Nessa situação, os pneus das aeronaves perdem o contato com a superfície da pista devido à lâmina de água formada sobre o pavimento.

No Aeroporto Internacional de Fortaleza esse tem sido um dos maiores problemas a enfrentar no que diz respeito à manutenção e à operação da sua pista de pousos e decolagens. A Figura 5.26 apresenta exemplos de borracha impregnada na superfície da pista de pousos e decolagens do mencionado aeroporto, onde se verifica, notadamente, a marca dos pneus das aeronaves.





**Figura 5.26** – Borracha impregnada na superfície da pista de pousos e de decolagens.

Com o crescimento do tráfego aéreo no Brasil, especialmente verificado nas duas últimas décadas, passando de cerca de 900 mil operações de pousos e decolagens em 1980 para mais de 2,0 milhões em 2007, segundo dados da ANAC (2008a), surgiram operações com aeronaves de maior porte e capacidade. Essa evolução demandou a necessidade de pistas mais funcionais e resistentes, além de práticas de avaliações e manutenções mais efetivas e econômicas.

O Aeroporto Internacional de Fortaleza acompanhou o crescimento aéreo brasileiro e operou 18,5 mil pousos e decolagens em 1980 e aproximadamente 47,3 mil no ano de 2007 (ANAC, 2008a), representando um crescimento de 156% no período.

Esse fato foi indispensável para que as rotinas de manutenção e avaliações das condições de segurança operacional da pista de pousos e de decolagens desse aeroporto fossem intensificadas, através de inspeções visuais diárias e ensaios de textura superficial, especificamente a macrotextura, medições de coeficiente de atrito e serviços de remoção de borracha, de acordo com a legislação vigente.

Essas questões foram analisadas por RODRIGUES FILHO (2006), especificamente para o Aeroporto de São Paulo/Congonhas, que ratificou a necessidade das administrações aeroportuárias efetuarem avaliações periódicas em seus pavimentos. Isso com o objetivo de identificar pistas com níveis deficientes e fornecer informações que permitam o aprimoramento dos procedimentos de manutenção e justifiquem a alocação dos recursos correspondentes.

Visando restaurar e preservar a funcionalidade das pistas de pousos e decolagens é imperativo que as administrações aeroportuárias promovam a realização periódica dos serviços de remoção da borracha acumulada na superfície dessas pistas.

De acordo com a FAA (2003b), e como afirmado ao longo deste capítulo, concentrações anormais de borracha podem cobrir a textura da superfície dos pavimentos e causar perda da capacidade de frenagem e controle direcional das aeronaves durante suas operações em pistas molhadas.

Esse processo deve estar associado a uma avaliação posterior que ocorre através da medição da macrotextura e do coeficiente de atrito. Conforme a legislação brasileira (DAC, 2001), todos os dados obtidos durante os serviços e avaliações nas pistas de pousos e decolagens devem ser repassados para conhecimento da ANAC.

A extinção da borracha acumulada, segundo recomendações da ICAO (2002), pode ocorrer através dos seguintes métodos: solventes químicos; ar comprimido quente; jato de água de alta pressão (hidrojateamento), e; solventes químicos e jato de água de alta pressão concomitantemente. A FAA (2003b), além daqueles explicitados anteriormente, recomenda a aplicação dos seguintes métodos: impacto de alta velocidade (*shotblasting*) e remoção mecânica.

No Brasil, tem-se aplicado mais comumente a técnica de remoção por jato de água de alta pressão, mostrando-se, na maioria dos casos, eficaz em áreas ligeiramente contaminadas. Para a FAA (2003b), essa técnica é econômica e ambientalmente recomendável, além de remover os depósitos de borracha com o mínimo de inatividade para o aeroporto.

Antes da execução propriamente dita, recomenda-se uma inspeção prévia dos pavimentos, por equipe técnica e experiente, para se saber quais as áreas que deverão ser submetidas ao processo de retirada de borracha, evitando, assim, trabalhos em áreas não afetadas pelo contaminante.

O processo é realizado com a aplicação de um veículo dotado de um reservatório de água, bomba de alta pressão e acessórios, tais como: pistolas, esguichos para o hidrojateamento manual, chuveiro rotativo sobre rodas e bicos espargidores. Os serviços

devem ser executados em sentidos transversais e paralelos ao eixo da pista, até a máxima remoção da borracha, conforme a Figura 5.27.



**Figura 5.27** – Serviços de remoção de borracha com jato de água de alta pressão.

Torna-se evidente, após a execução dos serviços, a retirada da borracha da superfície, que apresenta tonalidades diferentes, conforme mostrado na Figura 5.28.



**Figura 5.28** – Áreas da pista de pousos e de decolagens, com e sem a execução dos serviços de remoção da borracha acumulada.

Em 2007, no Aeroporto Internacional de Fortaleza, 98% dos cerca de 23,6 mil pousos ocorreram pela cabeceira 13 da pista de pousos e de decolagens que possui 2.545m de extensão (INFRAERO, 2008c). A média de pousos diários, como já mencionado anteriormente neste capítulo, foi de 65. Com base nessa média de pouso/dia, a frequência dos levantamentos e serviços deveria ocorrer a cada seis meses, conforme a Tabela 5.17. Apesar disso, conforme afirmado anteriormente, os serviços foram realizados em três ocasiões no ano de 2007, nos meses de janeiro, agosto e

novembro, uma vez que os índices de macrotextura e coeficientes de atrito mostraram-se inferiores ao nível mínimo exigido.

A execução da remoção de borracha deve ocorrer de forma a atender rigorosamente os parâmetros pré-estabelecidos. Além disso, algumas recomendações precisam ser tomadas pelos responsáveis envolvidos, como: buscar uma coordenação permanente com a Torre de Controle do aeroporto, emitir antecipadamente um NOTAM com informações sobre a realização dos serviços e, principalmente, interferir o mínimo possível na operacionalidade do aeroporto. Isso porque os pousos e as decolagens das aeronaves podem sofrer restrições ou limitações em virtude da realização dos serviços na pista (OLIVEIRA, 2008).

Durante e após a realização dos serviços de remoção, verificam-se nitidamente resíduos de borracha secos e/ou misturada à água, formando uma massa densa e viscosa, conforme mostrado na Figura 5.29.



**Figura 5.29** – Resíduos de borracha retirada da pista de pousos e de decolagens.

Contudo, em muitas ocasiões, uma análise mais atenta, até mesmo tátil, desse material residual, é possível encontrar pequenos agregados envolvidos no ligante asfáltico retirados do revestimento. Tal situação proporciona uma deterioração gradual da superfície do pavimento, conforme se verifica na Figura 5.30.



**Figura 5.30** – Deterioração da superfície da pista de pousos e de decolagens ocasionada pelos serviços de remoção de borracha.

Após os serviços é necessário que se faça uma vistoria dos pavimentos que passaram pelo processo de remoção para se examinar o estado geral da superfície. Nessa etapa é possível verificar marcas do chuveiro rotativo sobre rodas em toda a extensão do pavimento por onde foram aplicados, proporcionando danos ao revestimento, conforme apresentado na Figura 5.31.



**Figura 5.31** – Danos provocados na pista de pousos e de decolagens pelos equipamentos de remoção de borracha.

A eliminação periódica da borracha impregnada na superfície de pavimentos aeroportuários é uma atividade importante no contexto da manutenção e conservação desses pavimentos. No entanto, apesar de ser uma prática de manutenção que proporciona benefícios imediatos, essa técnica de manutenção, a longo prazo, não oferece grandes vantagens ao aeroporto, principalmente se não houver a aplicação de outras ferramentas ou alternativas de manutenção apropriadas.

A remoção da borracha deveria proporcionar uma melhoria da textura superficial e do coeficiente de atrito dos pavimentos. No entanto, dependendo da situação do revestimento, os serviços de remoção não surtem grandes efeitos na melhoria das condições funcionais da superfície, sendo necessário o emprego de técnicas mais efetivas e econômicas, ou até mesmo, a reconstrução do revestimento afetado.

Os serviços tornam-se essenciais em aeroportos dotados de uma única pista de pousos e decolagens e grande movimentação de pousos e de decolagens, como é o caso do Aeroporto Internacional de Fortaleza. Isso em virtude da disponibilidade operacional ofertada pelo aeroporto e, ao mesmo tempo, a dificuldade de sua realização, considerando a inviabilidade de se fechar a única pista existente mesmo em períodos parciais do dia.

Nesses casos, é preciso que os serviços de remoção de borracha impregnada sejam realizados simultaneamente às operações aéreas, mesmo sob o risco iminente de acidentes, já que as aeronaves voam sobre os locais dos serviços a baixas altitudes ou decolam com a cabeceira próxima às equipes envolvidas nas atividades de retirada da borracha, conforme pode se comprovar pelas fotografias da Figura 5.32.



**Figura 5.32** – Operações de pousos e de decolagens durante os serviços de remoção de borracha.

## 5.6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A abordagem apresentada neste capítulo levou em consideração as condições de superfície do Aeroporto Internacional de Fortaleza, especificamente da pista de pousos e

de decolagens, apresentando as avaliações da textura superficial e do coeficiente de atrito obtidas no citado aeroporto ao longo dos anos.

De acordo com o que foi visto, a pista de pousos e de decolagens possui adequada condição de uso, apesar de sua idade e da ausência de manutenção ao longo dos anos, com alguns problemas pontuais na área correspondente ao 1º terço e mais precisamente na sua zona de toque.

Com base nas informações prestadas nos capítulos anteriores e, em especial neste, no próximo capítulo serão propostas as estratégias de manutenção para os pavimentos aeroportuários, com foco para a pista de pousos e de decolagens do Aeroporto Internacional de Fortaleza, baseadas na macrotextura e no coeficiente de atrito, objetivo central desta pesquisa.

## **CAPÍTULO 6**

### **PROPOSIÇÃO DAS ESTRATÉGIAS DE MANUTENÇÃO**

As estratégias de manutenção baseadas na macrotextura e no coeficiente de atrito serão apresentadas neste capítulo, com foco para a pista de pousos e de decolagens do Aeroporto Internacional de Fortaleza, objetivando fundamentar as análises apresentadas nos capítulos anteriores e alcançar o objetivo geral desta pesquisa.

#### **6.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS**

Após apresentadas algumas considerações acerca das condições estruturais, e principalmente funcionais, da pista de pousos e de decolagens do Aeroporto Internacional de Fortaleza, a partir deste capítulo serão tratadas e recomendadas as estratégias de manutenção baseadas nas características de macrotextura e atrito.

Para isso, como forma de complemento, assim como facilitar o entendimento das estratégias propostas, serão apresentados nos itens seguintes um resumo das intervenções e dos levantamentos no Aeroporto Internacional de Fortaleza desde o início de sua operação.

É certo que, independentes do tipo e da finalidade, os pavimentos necessitam de atividades regulares de manutenção, haja vista sua deterioração gradual ao longo do tempo. Deterioração essa que, se não reparada em um momento oportuno e de forma adequada, ocasiona sérios prejuízos à gestão de um complexo aeroportuário.

Esta pesquisa, especificamente neste capítulo, procura aliar algumas das técnicas de manutenção existentes, inclusive já citadas anteriormente, com os parâmetros funcionais mais utilizados nas avaliações das condições de superfícies dos pavimentos aeroportuários. Isso com o objetivo de proporcionar maior durabilidade, operacionalidade e segurança à principal infraestrutura de um aeroporto: os pavimentos, especialmente a sua pista de pousos e de decolagens.



## 6.2. RESUMO DAS INTERVENÇÕES E DOS LEVANTAMENTOS

As informações apresentadas neste item possuem o objetivo de colaborar para a criação do banco de dados de um possível Sistema de Gerência de Pavimentos Aeroportuários – SGPA que possa vir a ser desenvolvido.

Esses dados, descritos nos capítulos anteriores, mostram um resumo histórico, estrutural e funcional da infraestrutura e, em especial, do complexo de pátios e de pistas do Aeroporto Internacional de Fortaleza. Igualmente, a sinopse aqui exposta busca promover uma rápida e não detalhada consulta das intervenções e dos levantamentos realizados durante os anos de funcionamento daquele complexo aeroportuário. Entretanto, caso se pretenda encontrar algum dado ou informação mais precisa, faz-se necessário recorrer aos capítulos correspondentes.

Serão apresentados a seguir, através da Tabela 6.1 e da Figura 6.1, um quadro-resumo e um gráfico-resumo das intervenções e dos levantamentos executados no Aeroporto Internacional de Fortaleza desde sua inauguração até 2007, tendo como fundamentação os dados apresentados nos parágrafos e nos capítulos anteriores.

**Tabela 6.1** – Quadro resumo das intervenções no Aeroporto Internacional de Fortaleza.

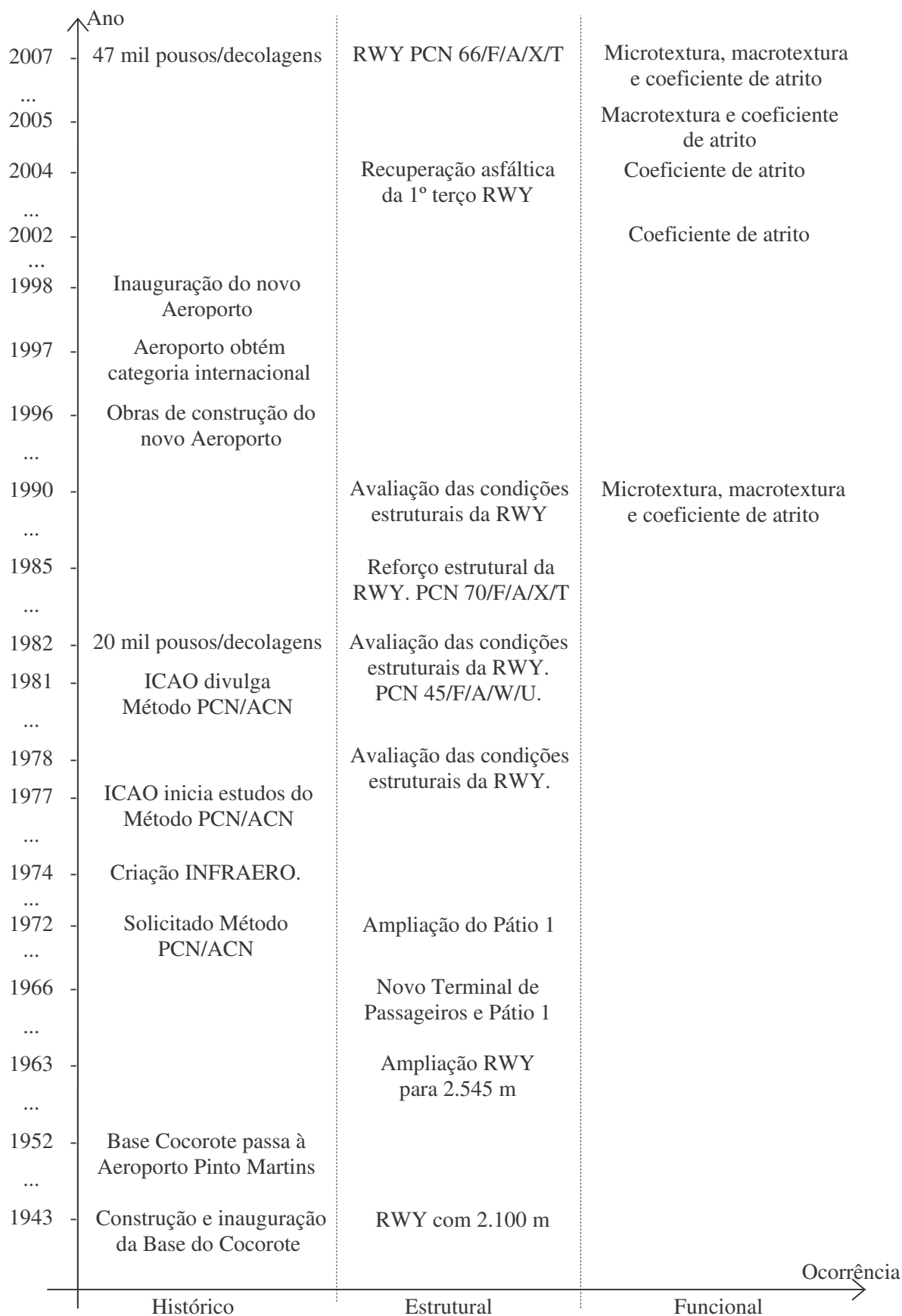
Ano	Evento/Ocorrência
1939	- Início da Segunda Guerra Mundial.
	- Ingresso dos Estados Unidos na Segunda Guerra Mundial.
1941	- No Brasil, levantamento de uma área para construção de uma nova base de apoio para Fortaleza e demais capitais do Norte e Nordeste. - Início da construção da Base do Pici.
	- Conclusão das obras da Base do Pici.
1942	- Pesquisa de uma nova área para construção de outra base de apoio. - Escolhida a Base do Cocorote.
1943	- Construção e inauguração da Base do Cocorote com uma pista de pousos e de decolagens com 2.100 m de extensão, cabeceiras de concreto e quatro pistas de taxiamento.
	- Fim da Segunda Guerra Mundial.
1945	- Bases do Pici e do Cocorote servindo como escolas de formação de pilotos de transportes e bases aéreas de retorno das tripulações combatentes.
1952	- Base do Cocorote passa a denominar-se oficialmente Aeroporto Pinto Martins.
1963	- Ampliação da pista de pousos e de decolagens do Aeroporto Pinto Martins para 2.545 m de extensão e construção de seis pistas de taxiamento.
1966	- Construção do primeiro terminal de passageiros com 8.000 m <sup>2</sup> de área e de um novo pátio de manobras e de estacionamento de aeronaves com 31.500 m <sup>2</sup> de área – Pátio 1.
1972	- Ampliação do Pátio 1 para 45.000 m <sup>2</sup> .

(Cont.)

---

	- Criação da INFRAERO.
	- Aeroporto Pinto Martins passa à administração da INFRAERO.
1974	- A VIII Conferência de Navegação Aérea solicita à ICAO a elaboração de um procedimento unificado para classificação da resistência dos pavimentos aeroportuários.
1977	- ICAO institui um grupo de trabalho para realizar os estudos solicitados.
1978	- DIRENG realiza avaliação das condições estruturais dos pavimentos do Aeroporto de Fortaleza: pista de pousos e de decolagens possui adequada capacidade de suporte e o pátio de manobras apresenta deficiências.
1981	- Anunciado oficialmente o Método ACN/PCN.
1982	- BOEING realiza levantamento das condições estruturais no Aeroporto de Fortaleza: pista de pousos e de decolagens com capacidade estrutural suficiente para atender todas as aeronaves com plena carga, apresentando um PCN de 45/F/A/W/U.
	- O movimento operacional de cerca de 20 mil pousos e decolagens.
1985	- Projeto da DIRENG para obras de reforço estrutural da pista de pousos e de decolagens do Aeroporto de Fortaleza.
	- Realizada obra de reforço estrutural.
	- Pista de pousos e de decolagens passa a ter um PCN de 70/F/A/X/T.
1990	- Nova avaliação das condições estruturais pela DIRENG
	- Avaliação funcional com execução dos ensaios de microtextura, macrotextura e coeficiente de atrito: 1º terço da pista de pousos e de decolagens apresenta deficiências na textura superficial.
1996	- Início das obras de construção do novo terminal de passageiros, novo pátio de manobras e de estacionamento de aeronaves e duas pistas de taxiamento.
1997	- O Aeroporto de Fortaleza obtém a classificação internacional, passando a denominar-se Aeroporto Internacional Pinto Martins.
1998	- Inauguração das novas instalações do Aeroporto Internacional de Fortaleza.
2002	- INFRAERO realiza avaliação das condições funcionais com execução do ensaio de coeficiente de atrito: pista de pousos e de decolagens possui adequadas condições, porém o 1º terço apresenta grande acúmulo de borracha na superfície.
2004	- INFRAERO realiza avaliação das condições funcionais com execução do ensaio de coeficiente de atrito: pista de pousos e de decolagens possui adequadas condições, porém o 1º terço apresenta grande acúmulo de borracha na superfície.
	- Diante dos dados dos ensaios de textura superficial, realizados serviços de recuperação do revestimento asfáltico defeituoso de trechos do 1º terço da pista de pousos e de decolagens a partir da cabeceira 13.
2005	- INFRAERO realiza avaliação das condições funcionais com execução dos ensaios de coeficiente de atrito e macrotextura: pista de pousos e de decolagens possui adequadas condições, entretanto 1º terço apresenta grande acúmulo de borracha na superfície.
2007	- INFRAERO realiza avaliação das condições funcionais com execução dos ensaios de coeficiente de atrito, macrotextura e microtextura: concluindo que a pista de pousos e de decolagens possui adequadas condições, entretanto o 1º terço apresenta grande acúmulo de borracha na superfície.
	- Pista de pousos e de decolagens com um PCN de 66/F/A/X/T.

---



**Figura 6.1** – Gráfico-resumo das ocorrências no Aeroporto Internacional de Fortaleza.

### 6.3. DEFINIÇÃO DAS ESTRATÉGIAS DE MANUTENÇÃO

Segundo a ICAO (1983) é necessário aplicar alguma forma de tratamento nas superfícies dos pavimentos aeroportuários de maneira a proporcionar adequadas características de atrito, como meio de minimizar a aquaplanagem.

Tal recomendação deve-se ao fato de que os indesejáveis eventos de aquaplanagem, responsáveis por inúmeros acidentes e incidentes envolvendo aeronaves, são ocasionados por deficiências nas características funcionais dos pavimentos, conforme já apresentados no capítulo anterior.

Assim, a efetiva aplicação de uma determinada técnica ou estratégia de manutenção oferece uma resposta positiva dos pavimentos aeroportuários quanto à ocorrência de aquaplanagem, atendendo, assim, ao principal requisito operacional destacado pela ICAO (1983): o de resistência à derrapagem.

Para efeito desta pesquisa, as estratégias de manutenção serão definidas em dois níveis diferentes e complementares: geral e específica.

As estratégias de manutenção do tipo geral serão classificadas, baseadas nas considerações de BALBO (1997), RODRIGUES (1999b), DNIT (2006) e BERNUCCI *et al.* (2007) e, dentre outros autores, em duas atividades distintas: conservação e restauração.

As atividades de conservação, segundo o DNIT (2006), destinam-se à preservação das condições do pavimento desde quando originalmente construído ou no estado em que foi posteriormente restaurado, podendo ser dividida em rotineira e periódica.

Para RODRIGUES (1999b), a conservação pode ser dividida em três categorias: além da rotineira, aquela que não interfere diretamente no pavimento, existe a conservação leve, quando se executa em pequenas áreas do pavimento, e a conservação pesada, realizada em aplicações contínuas de camadas de pequena espessura.

Nesta pesquisa, não serão adotadas as divisões apresentadas anteriormente. A conservação foi aqui concebida com o intuito de, se aplicada de acordo com os critérios

estabelecidos, prolongar a vida de serviço, minimizar as ações da deterioração gradual, proporcionar adequada qualidade de rolagem para as aeronaves, como um pavimento novo, e reduzir a níveis aceitáveis a realização das atividades de restauração, uma vez que estas necessitam de maiores recursos financeiros e materiais.

A restauração, por sua vez, possui o mesmo propósito quanto à extensão da vida de serviço, redução da degradação e qualidade de rolagem do pavimento apresentados pela conservação, contudo, os custos para sua execução são bem maiores se comparados aos da conservação, assim como as interferências de ordem operacional no aeroporto.

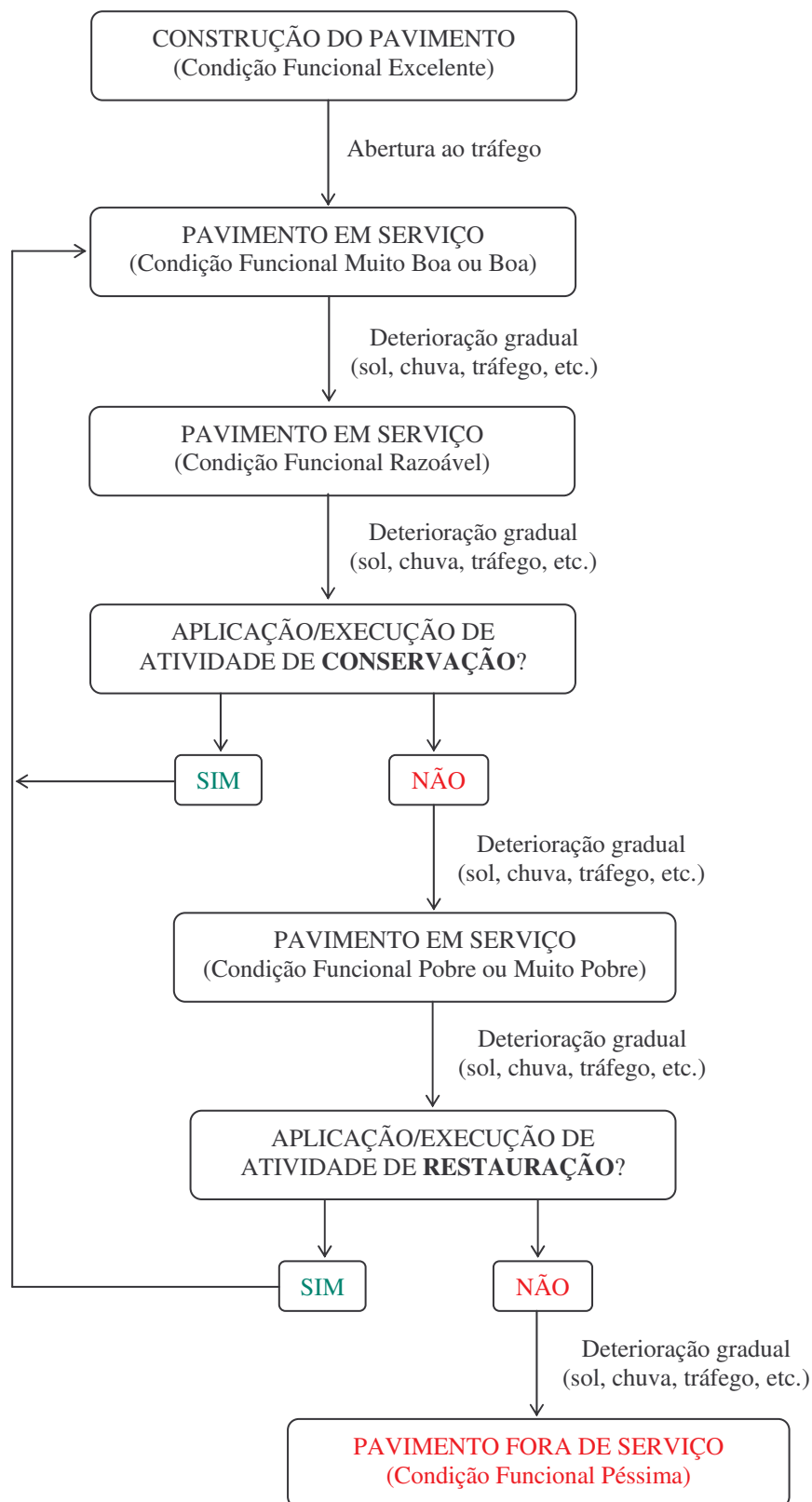
De acordo com BERNUCCI *et al.* (2007) a restauração é um conjunto de operações destinadas a restabelecer na íntegra ou em parte as características técnicas originais de um pavimento. Esse restabelecimento das condições originais, segundo RODRIGUES (1999b), devem ocorrer de forma a atender os requisitos mínimos e levar a um retorno máximo do investimento realizado, dentro das restrições operacionais e técnicas.

Ainda para RODRIGUES (1999b), a restauração de um pavimento deve garantir uma vida de serviço mínima, de modo que uma nova intervenção desse mesmo porte seja necessária apenas após este período.

Na maioria dos casos, verifica-se que os serviços de restauração tornam-se mais frequentes à medida que não se aplicam, no momento apropriado, efetivas ações de conservação ou quando inexistente sua prática. Tal situação proporciona custos desnecessários e, sobretudo, excessivos que poderiam ser reduzidos com práticas regulares de conservação. Essas questões deveriam ser analisadas criteriosamente pelo tomador de decisões, baseado em um sólido Sistema de Gerência de Pavimentos.

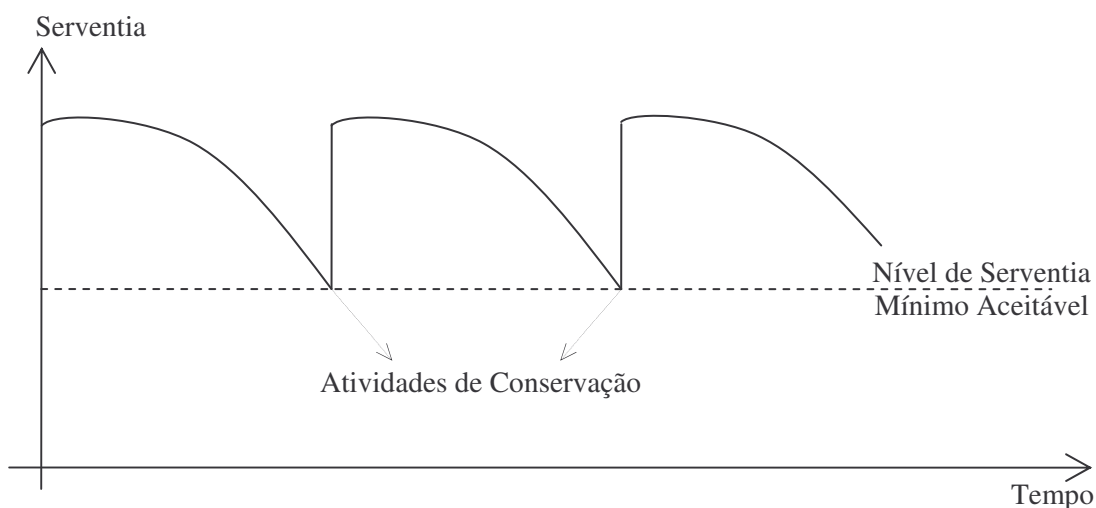
Com base na afirmação do parágrafo anterior, apresenta-se na Figura 6.2 um fluxograma da evolução das condições de um pavimento, independente se rodoviário ou aeroportuário, com base na aplicação das atividades de conservação e de restauração.

Percebe-se pelo fluxograma, e principalmente na prática, que o pavimento desponta com uma condição funcional considerada excelente e, a partir da abertura ao tráfego, somado à sua deterioração gradual e a não execução daquelas atividades, recai a uma condição péssima, até ficar inutilizado ou fora de serviço.



**Figura 6.2** – Fluxograma da evolução da vida em serviço de um pavimento.

Uma análise do fluxograma da Figura 6.2, remete as considerações das práticas de conservação e de restauração à definição do conceito de serventia-desempenho de um pavimento, desenvolvido por CAREY e IRICK (1960), conforme já mencionado no Capítulo 2, por ocasião da Revisão Bibliográfica desta pesquisa. Um gráfico representativo daquela serventia-desempenho é apresentado na Figura 6.3.



**Figura 6.3** – Gráfico da serventia-desempenho. CAREY e IRICK (1960) – Adaptado.

Quanto às estratégias de manutenção específicas, algumas delas inclusive já descritas também na Revisão Bibliográfica, a partir deste ponto da pesquisa serão apresentadas sempre associadas a uma das estratégias de manutenção geral – conservação ou restauração, mencionada anteriormente.

Para as atividades de conservação, as estratégias de manutenção específicas se resumirão em simples, porém importantes, serviços que não necessitem alterar sobremaneira a rotina operacional do aeroporto. Tratam-se de estratégias que visam principalmente o acompanhamento das condições da superfície do pavimento e sua evolução no decorrer do tempo.

Assim sendo, podem-se citar as inspeções visuais, além dos ensaios de textura superficial, especificamente a macrotextura, e de coeficiente de atrito. As inspeções terão sua frequência estabelecida de forma semanal, quinzenal ou mensal, e os ensaios de caráter extraordinário, seguindo os procedimentos explicitados no capítulo anterior.

Os serviços de restauração, nesta pesquisa, indicarão as seguintes opções de estratégias de manutenção específicas:

- a) lama asfáltica;
- b) tratamento superficial – simples, duplos ou triplos;
- c) micro-revestimento asfáltico – à quente ou à frio;
- d) camada porosa de atrito;
- e) matriz pétreo asfáltica;
- f) *grooving*;
- g) remoção de contaminante; e,
- h) reconstrução do revestimento.

Na restauração, os serviços correspondentes às estratégias de manutenção específica, por mais simples que sejam sua execução, considerando-se a experiência apresentada nas mais diversas intervenções da manutenção rodoviária, proporcionarão algum impacto à operacionalidade do aeroporto, principalmente por se tratar da pista de pousos e de decolagens. Isso porque, de alguma forma, o pavimento ou determinado trecho a ser restaurado deverá ser interditado, mesmo que parcialmente em alguns períodos do dia. Tal situação se agrava ainda mais no Aeroporto Internacional de Fortaleza, pois este dispõe de apenas uma pista para as operações de pousos e de decolagens.

Das estratégias de manutenção específicas listadas anteriormente, cabe observar que a reconstrução do revestimento foi, se comparada às outras estratégias, a única não descrita em detalhes quando da apresentação das Técnicas de Manutenção, item 2.4, Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica.

Quando se menciona a reconstrução, considera-se em aplicar uma alternativa de manutenção que deve ser executada, na grande maioria dos casos, em virtude do pavimento não apresentar as condições, sejam funcionais ou estruturais, necessárias para sua plena utilização. Igualmente, convém destacar que a opção da restauração é extrema e deve ser empregada quando as outras estratégias de manutenção não proporcionam mais o efeito desejado no pavimento.

Para BALBO (1997), a reconstrução de um pavimento surge como resultado da negligência prolongada que implica na impossibilidade de reabilitá-lo.



Ao se realizar a reconstrução de um pavimento, segundo RODRIGUES (1999b), procura-se remover totalmente a estrutura do pavimento, em muitos casos desde o subleito, e substituir os materiais das antigas camadas constituintes por novos materiais ou por reciclagem dos mesmos, de acordo com BERNUCCI *et al.* (2007), com ou sem adição de algum estabilizante.

Para o DNIT (2006), a reconstrução pode ser com a remoção total ou parcial da espessura do pavimento, podendo, eventualmente, atingir a camada de subleito e de forma que a nova estrutura possua conformidade adequada com as características das áreas adjacentes do pavimento remanescente.

Nesta pesquisa, a reconstrução definida nas estratégias de manutenção específica será apenas da camada do revestimento afetado. Isso porque se pretendem restabelecer, principalmente, as suas características funcionais, sobretudo aquelas referentes à macrotextura e ao coeficiente de atrito e, da mesma forma, prolongar sua vida útil.

A Tabela 6.2 mostra um resumo das estratégias de manutenção geral e específica, como forma de facilitar o entendimento da definição dessas estratégias e sua posterior proposição. Ressalte-se que tais estratégias são apresentadas com um código alfabético, no caso das estratégias de manutenção geral corresponde a letra inicial da atividade, e numérica sequencial para as estratégias de manutenção específica.

**Tabela 6.2** – Resumo das estratégias de manutenção.

Geral	Específica
Conservação – C	1. Inspeção Visual Semanal
	2. Inspeção Visual Quinzenal
	3. Inspeção Visual Mensal
	4. Ensaio de Macro-Textura – Extraordinário
	5. Ensaio de Coeficiente de Atrito – Extraordinário
Restauração – R	6. Lama Asfáltica
	7. Tratamento Superficial – Simples, Duplos ou Triplos
	8. Microrevestimento Asfáltico – à Frio ou à Quente
	9. Camada Porosa de Atrito – CPA
	10. Matriz Pétreo Asfáltica – SMA
	11. <i>Grooving</i>
	12. Remoção do Contaminante
	13. Reconstrução do Revestimento

#### 6.4. PROPOSIÇÃO DAS ESTRATÉGIAS DE MANUTENÇÃO

Uma vez que as estratégias de manutenção foram definidas e se tem conhecimento dos parâmetros funcionais de textura superficial, com destaque para a macrotextura, e de coeficiente de atrito é necessário propor as estratégias de conservação e de restauração, como forma de se atingir o objetivo geral desta pesquisa.

De acordo com ARGUE (2005), cerca de 10% a 20% dos pavimentos aeroportuários, eventualmente, necessitam de algum serviço de manutenção, pois a deterioração da qualidade de rolamento chega a um nível inaceitável para seus usuários.

É verdade que os parâmetros funcionais explicitados no capítulo anterior não fornecem subsídios suficientes para detecção objetiva de defeitos na superfície dos pavimentos, tais como trincas, desgastes e buracos. Entretanto, pode-se afirmar que não existem impedimentos para que durante uma inspeção visual esses defeitos sejam identificados no pavimento e sejam propostos os serviços de recuperação correspondentes, a exemplo dos remendos e da selagem de trincas.

Para esta pesquisa, diferentemente das indicações de RODRIGUES (1999b) e DNIT (2006), os serviços de manutenção destinados à correção dos problemas apontados no parágrafo anterior, serão tratados como atividades de restauração e não de conservação, uma vez que procedimentos de médio a grande vulto deverão ser planejados e executados.

Na grande maioria das vezes, para esses casos, será necessário interditar, mesmo que em períodos parciais do dia, a via a ser trabalhada e, por consequência, a rotina e a operação do aeroporto será afetada. Tal fato torna-se bastante difícil e inviável quando se trata do Aeroporto Internacional de Fortaleza, pelas questões já explicitadas nos capítulos anteriores e, principalmente, pela existência de apenas uma pista de pousos e de decolagens.

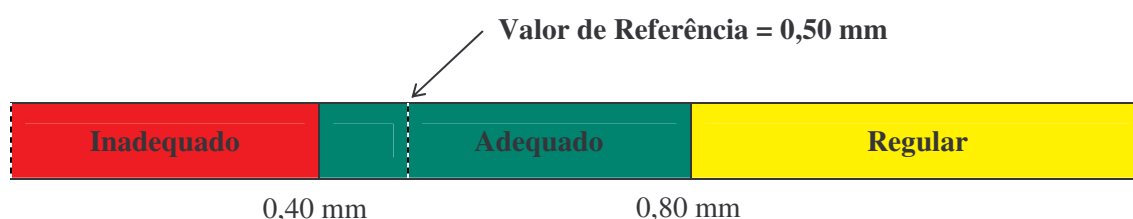
Convém lembrar, entretanto, que para a proposição das estratégias de manutenção os valores de referência utilizados para a macrotextura e o coeficiente de atrito serão aqueles para os quais se tem uma efetiva segurança contra a aquaplanagem, conforme apresentados nesta pesquisa, quando se definiu as condições funcionais dos pavimentos aeroportuários.

Assim, para a macrotextura, o valor recomendado pela ANAC (DAC, 2001) e ICAO (2002) não deve ser inferior a uma profundidade média da mancha de areia de 0,50 mm quando se tratar de pavimentos em operação. Esse valor classifica a macrotextura do pavimento como média, conforme mostrou a Tabela 5.7.

Essa é a condição ideal de macrotextura para um pavimento aeroportuário, especialmente quando se trabalha com pistas de pousos e de decolagens. Isso porque uma macrotextura classificada como aberta ou muito aberta, cuja profundidade média da mancha de areia é superior a 0,80 mm, proporciona no início das operações uma condição de intenso desgaste dos pneus das aeronaves. Isso faz com que haja um maior acúmulo de borracha na sua superfície à medida que ocorrem os movimentos das aeronaves nesse pavimento.

Por outro lado, uma macrotextura fechada ou muito fechada, para a qual se tem uma profundidade média da mancha de areia inferior a 0,40 mm, oferece inadequada condição de segurança às operações das aeronaves, uma vez que não se pode garantir uma eficiente ação contra a aquaplanagem. Neste caso, recomendações da ICAO (2002) apresentadas no capítulo anterior indicam que serviços imediatos de manutenção corretiva devem ser realizados no pavimento.

Através da Figura 6.4 ilustra-se graficamente a classificação da macrotextura, com base nas informações repassadas nos parágrafos anteriores.



**Figura 6.4** – Esquema gráfico de classificação da Macrotextura.

No que diz respeito ao coeficiente de atrito, verificou-se que o seu valor modifica-se de acordo com o equipamento utilizado para a medição. Se considerados aqueles principais utilizados pelas administrações aeroportuárias brasileiras, dentre eles o recomendado pela ANAC (DAC, 2001), conforme foi descrito na Tabela 5.15, tem-se que o valor de referência ou o denominado Nível de Planejamento de Manutenção

quando se utiliza o *Mu-Meter* é de 0,52 e quando o equipamento é o *Skiddometer* ou o *Trailer* o valor é de 0,60 (ICAO, 2004).

Esses valores somente são válidos desde que cumpridas as recomendações do ensaio para obtenção do coeficiente de atrito quanto à velocidade de medição e a pressão dos pneus.

Esta pesquisa, conforme descrito no Capítulo 5, baseou a análise dos dados de coeficiente de atrito obtidos para a pista de pousos e de decolagens do Aeroporto Internacional de Fortaleza no índice definido pela ANAC (DAC, 2001). Dessa forma, o valor de referência ou de Nível de Planejamento de Manutenção adotado será de 0,50, e não de 0,52, segundo ICAO (2004), desde que o equipamento de medição utilizado seja o *Mu-Meter*.

Ainda segundo ANAC (DAC, 2001), o valor mínimo admissível para qualquer segmento do pavimento com mais de 100 metros, não poderá ser menor que o nível de planejamento de manutenção. Nesta pesquisa, em decorrência da proposição das estratégias de manutenção será adotado o valor mínimo de 0,40 e não 0,42, conforme definido por ICAO (2004), quando se utilizar o equipamento *Mu-Meter*.

Seguindo a mesma linha de raciocínio, pode-se adequar o valor do coeficiente de atrito para pavimentos aeroportuários com uma nova superfície. Assim, o valor será de 0,70 e não mais de 0,72, segundo a Tabela 5.15, adaptada da ICAO (2004). Essa mesma categoria de valores para os demais equipamentos se mantém.

Deste modo, uma nova tabela dos valores de coeficientes de atrito, a partir das considerações apresentadas anteriormente pode ser ajustada para a proposição das estratégias de manutenção desta pesquisa a partir da Tabela 5.15, conforme se apresenta na Tabela 6.3.

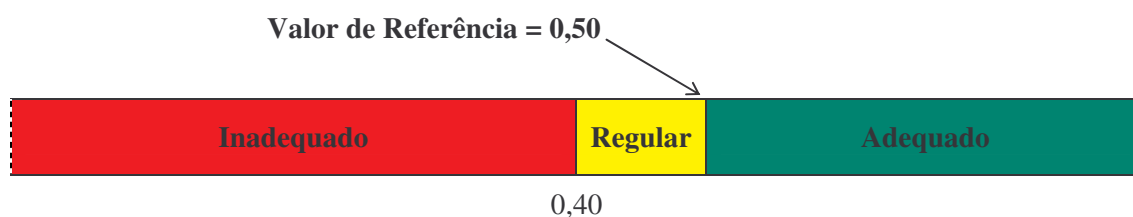
**Tabela 6.3 – Valores de coeficientes de atrito.**

Equipamento de Medição	Pressão dos Pneus (kpa)	Coeficiente de Atrito		
		Novas Superfícies	Nível de Planejamento de Manutenção	Nível de Atrito Mínimo
<i>Mu-Meter</i>	70	0,70	0,50	0,40
<i>Skiddometer</i>	210	0,82	0,60	0,50
<i>Trailer</i>	210	0,82	0,60	0,50

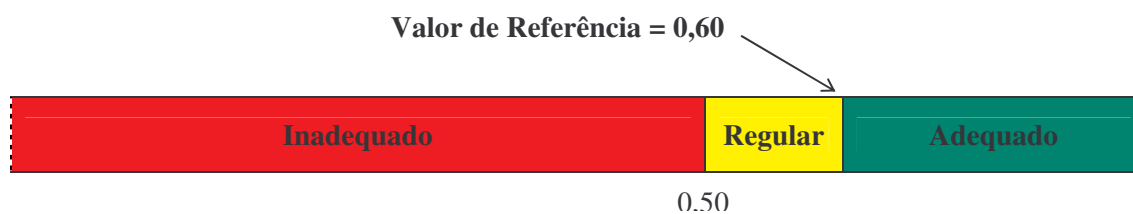
Nesta pesquisa julga-se que uma redução de 0,02 quando se comparam os valores de coeficiente de atrito estabelecidos pela ANAC (DAC, 2001) e pela ICAO (2004), quando obtido através do equipamento *Mu-Meter*, não é suficiente para limitar ou mesmo restringir a capacidade operacional e de segurança dos pavimentos aeroportuários contra as ações de aquaplanagem.

Pavimentos que apresentam valores de coeficiente de atrito acima do valor de referência costumam proporcionar adequada ação de frenagem às aeronaves que os utilizam, vindo a reduzir e até mesmo perder essa propriedade à medida que o índice encontra-se abaixo desse valor ou chega ao patamar do valor mínimo recomendado.

Dois esquemas gráficos semelhantes ao elaborado para a macrotextura é apresentado através da Figura 6.5 e da Figura 6.6 para cada tipo de equipamento utilizado para obtenção do coeficiente de atrito.



**Figura 6.5** – Esquema gráfico de classificação do Coeficiente de Atrito para *Mu-Meter*.



**Figura 6.6** – Esquema gráfico de classificação do Coeficiente de Atrito para *Skiddometer* ou *Trailer*.

Neste ponto, suscita-se uma resumida discussão sobre a concepção do que seja um pavimento novo ou com nova superfície. No entendimento desta pesquisa, um pavimento é considerado novo quando atende a dois requisitos: possui pouco tempo de existência, mesmo após serviços de restauração, e ainda não foi aberto ao tráfego.

Apesar de ser o desejo de muitos administradores e técnicos responsáveis pelos pavimentos aeroportuários, não se pode exigir que um pavimento recém-construído,

mas aberto às operações de pousos e de decolagens, possua o mesmo valor de macrotextura e coeficiente de atrito que um pavimento novo nunca utilizado.

Isso porque, de acordo com a ICAO (2004), aqueles índices diminuem com o uso, haja vista que começam a se deteriorar com o tráfego constante e a formar sobre a superfície dos pavimentos depósitos de borracha proveniente, como se sabe, das operações das aeronaves.

Contudo, não existem impedimentos para que os valores fixados para os pavimentos realmente novos ou com novas superfícies, de acordo com o definido anteriormente, sejam destinados também aos pavimentos relativamente recentes, mas aberto ao tráfego. Isso dependerá de análise e decisão da administração aeroportuária.

Em termos gerais, as estratégias aqui propostas objetivam auxiliar o tomador de decisão na escolha da melhor alternativa de manutenção quando as condições de superfícies dos pavimentos aeroportuários estiverem nas situações adequada, regular e inadequada, conforme os esquemas gráficos de classificação apresentados para a macrotextura e o coeficiente de atrito.

Nessa linha de raciocínio, quando se tem um pavimento em condição funcional adequada, na qual os parâmetros de segurança operacional são atendidos de forma satisfatória, as atividades de conservação, a exemplo daquelas apresentadas na Tabela 6.2, devem ser aplicadas de forma contínua e intensiva. Isso com o propósito de prolongar o tempo de vida de serviço do pavimento, evitar constantes ações de restauração, bem como não permitir que o pavimento decresça a uma condição regular ou inadequada.

A condição funcional adequada, como o próprio nome sugere, é a ideal e pretendida para todos os tipos de pavimentos, sejam aeroportuários ou rodoviários. Nessa categoria, os custos de manutenção são relativamente baixos, vindo a aumentar à medida que se verifica uma queda das condições. Essa queda é evidenciada, sobretudo, pela análise dos valores de macrotextura e coeficiente de atrito.

O estado regular é aquele em que os pavimentos apresentam uma condição mediana de operação. Problemas de pequeno ou médio porte na textura superficial e/ou no coeficiente de atrito podem estar presentes e prejudicar o desempenho funcional do

pavimento. Se não reparados no momento oportuno, esses defeitos tendem a se tornar severos o suficiente de modo a inviabilizar sua utilização.

Dependendo da situação da cada parâmetro – macrotextura e coeficiente de atrito, técnicas de conservação não são mais tão efetivas, fazendo com que o pavimento somente consiga atingir uma condição adequada após a execução de algum processo mais intenso de restauração, como os descritos em capítulos anteriores.

Por sua vez, um pavimento numa condição inadequada não oferece um estado de segurança apropriado às operações das aeronaves, haja vista que o risco de derrapagens, quando da presença de água na superfície, é bem superior se comparado às condições adequada e regular.

Neste caso, as estratégias de conservação não podem ser aplicadas inicialmente, como forma de reparar e elevar o pavimento a uma condição adequada, uma vez que tal procedimento certamente não implicará no efeito desejado. Recomenda-se, primeiramente, que alguma técnica de restauração seja executada como forma de tornar o pavimento mais seguro e livre de qualquer perigo iminente. A conservação poderá ser aplicada como etapa posterior do processo de manutenção preventiva.

Os custos financeiros decorrentes dos serviços para reparo na condição inadequada é substancialmente elevado quando equiparado aos serviços executados nas outras condições, conforme ilustrou SHAHIN (2005) na Figura 2.11, quando realizada a Revisão Bibliográfica desta pesquisa, no Capítulo 2.

A noção preliminar que os administradores aeroportuários, engenheiros, equipes de manutenção ou técnicos menos experientes têm é que não existe necessidade de aplicação de técnicas de conservação quando o pavimento apresenta uma condição funcional adequada, já que, em princípio, não existem problemas a serem detectados e corrigidos.

Como já informado anteriormente nesta pesquisa, a FAA (2006a) alertou para o fato de que a maioria daqueles profissionais toma decisões acerca dos serviços de manutenção baseadas na necessidade urgente ou na experiência, não permitindo avaliar o custo efetivo das alternativas de conservação e/ou estratégias de restauração, conduzindo a um ineficiente uso dos recursos disponíveis.

Essa deficiência na ação dos responsáveis pela manutenção dos pavimentos deve-se, em geral, a falta de conhecimento dos efeitos positivos que proporcionam os Sistemas de Gerência de Pavimentos Aeroportuários – SGPA, nos quais aquelas técnicas ou alternativas deveriam estar inseridas como uma das principais atividades a serem executadas.

As atividades de manutenção inseridas em um SGPA, mostradas nos capítulos anteriores, englobam atividades preventivas, contínuas e intensivas de conservação que tendem a minimizar e até mesmo eliminar o surgimento de algum defeito no pavimento e, por sua vez, reduzir os custos financeiros de uma restauração, caso seja realizada.

Isso é de fundamental importância, pois se sabe que, é neste cenário de condição ideal, com notável ausência de implantação e aplicação de um SGPA para estabelecer as estratégias de manutenção e as demais atividades que fazem parte do sistema como um todo, que começam a surgir os problemas que levam rapidamente o pavimento a uma condição regular ou inadequada.

As estratégias de manutenção desta pesquisa serão propostas mediante a combinação de valores e de características entre os dois parâmetros, prevalecendo a condição mais desfavorável para o pavimento.

Pode-se afirmar que, dificilmente, esses parâmetros apresentam condições completamente divergentes um do outro. Isso significa que um pavimento com uma macrotextura adequada certamente não possuirá um coeficiente de atrito inadequado e vice-versa. Os dados analisados no capítulo anterior confirmam esta premissa.

Nada impede, entretanto, que uma situação passível de ocorrência seja a dos parâmetros não estarem simultaneamente nas mesmas condições funcionais. Isso poderá ocorrer quando estiverem no limite de cada categoria, como por exemplo: um pavimento com macrotextura de 0,38 mm possui uma classificação fechada e, por conseguinte, características funcionais inadequadas. Porém, para esse mesmo pavimento o coeficiente de atrito, quando medido com *Mu-Muter*, poderá ser de 0,51, considerando, portanto, adequado, já que está acima do valor fixado de 0,50.

Nessa situação hipotética, se as estratégias de manutenção fossem propostas para o pavimento, a correção seria através de algum processo de restauração que elevasse o



valor da macrotextura à uma condição adequada. Tal ação, seguramente, elevaria da mesma forma o valor do coeficiente de atrito.

É importante ainda ressaltar que as especificações de ordem técnica que envolvem as estratégias de manutenção específicas aqui sugeridas devem obedecer as recomendações estabelecidas por cada administração aeroportuária através de suas normas, regulamentos, manuais de procedimentos, dentre outros. Estas, por sua vez, precisam seguir as diretrizes e orientações, caso existam, da Agência Nacional de Aviação Civil – ANAC e, principalmente, da Organização da Aviação Civil Internacional – ICAO.

Exemplos de casos bem sucedidos de outros aeroportos no Brasil e no exterior, com características semelhantes ao do objeto de estudo, bem como de outros organismos, como a Administração Federal de Aviação dos Estados Unidos (*Federal Aviation Administration – FAA*) e do Departamento de Transportes do Canadá – *Transport Canada*, também podem ser adotados. Essas atitudes são fundamentais para a segurança das operações das aeronaves nos pavimentos aeroportuários.

Porém, conforme recomenda a ICAO (1983), é importante observar as características gerais do pavimento – estruturais e funcionais, uma vez que, em certos casos, pode existir a necessidade de uma reconstrução integral de todas as camadas do pavimento, inclusive do revestimento. Tal procedimento antecipa inúmeras situações indesejáveis durante a execução dos serviços de manutenção, além de impedir o desperdício de recursos financeiros.

Após essas considerações sobre a análise das condições funcionais dos pavimentos aeroportuários, avalia-se ser o momento conveniente para propor as estratégias de manutenção baseadas na macrotextura e no coeficiente de atrito.

A análise para a proposição das estratégias compreenderá as cinco categorias de macrotextura – muito fechada, fechada, média, aberta e muito aberta, conforme os valores obtidos para a profundidade média da mancha de areia – T, e suas respectivas condições funcionais. Vale ressaltar, mais uma vez, que o valor de referência para este parâmetro é de 0,50 mm. Uma divisão dessas informações é apresentada através da Tabela 6.4.

**Tabela 6.4** – Macrotextura a partir das condições funcionais.

Condição Funcional	Categoria da Macrotextura	Profundidade Média da Mancha de Areia – T
Inadequada	Muito Fechada	$T < 0,20 \text{ mm}$
	Fechada	$0,20 \text{ mm} < T < 0,40 \text{ mm}$
Adequada	Média	$0,40 \text{ mm} < T < 0,80 \text{ mm}$
Regular	Aberta	$0,80 \text{ mm} < T < 1,20 \text{ mm}$
	Muito aberta	$T > 1,20 \text{ mm}$

As condições apresentadas na Tabela 6.4 para a macrotextura serão associadas às categorias e aos valores do coeficiente de atrito e suas respectivas condições funcionais, conforme mostradas na Tabela 6.5.

**Tabela 6.5** – Coeficiente de atrito a partir das condições funcionais.

Condição Funcional	Coeficiente de Atrito - $\mu$	Equipamento
Inadequada	$\mu < 0,40$	<i>Mu-Muter</i>
	$\mu < 0,50$	<i>Skiddometer/Trailer</i>
Regular	$0,40 < \mu < 0,50$	<i>Mu-Muter</i>
	$0,50 < \mu < 0,60$	<i>Skiddometer/Trailer</i>
Adequada	$\mu > 0,50$	<i>Mu-Muter</i>
	$\mu > 0,60$	<i>Skiddometer/Trailer</i>

A proposta inicial será a situação de macrotextura muito fechada, na qual a profundidade média da mancha de areia é inferior a 0,20 mm, e para as três condições de coeficiente de atrito.

Frequentemente, um pavimento chega a essas condições devido a uma ausência plena de práticas de manutenção, sejam preventivas ou corretivas, ou então porque atingiu sua vida de serviço. Nessas condições as intervenções tendem a ser mais intensas e dispendiosas.

Por mais que o valor do coeficiente de atrito esteja numa condição adequada, o que será muito pouco provável, já que esses índices trabalham de forma combinada, segundo relatou anteriormente FONSECA (1990), as estratégias de manutenção geral indicadas serão a restauração, numa primeira fase, seguida de uma conservação.

O cenário mais desfavorável e mais crítico para os pavimentos aeroportuários será quando ambos os parâmetros estiverem numa condição inadequada, uma vez que os riscos de derrapagens de aeronaves nas pistas tornam-se mais prováveis de acontecer, especialmente quando da presença de água. Neste caso, ações de manutenção devem ser

iniciadas imediatamente para corrigir o estado da superfície desses pavimentos, com o objetivo de evitar aqueles acidentes e/ou incidentes.

A restauração das condições funcionais de um pavimento nessa situação, para FONSECA (1990), deverá ser realizada através da aplicação de lama asfáltica, estratégia de manutenção específica número 6 conforme a Tabela 6.2, utilizando-se agregados compreendidos em faixa granulométrica intermediária.

Uma diferenciação sobre a questão da faixa granulométrica utilizada na lama asfáltica é encontrada em algumas obras como, por exemplo, DNIT (2006) e BERNUCCI *et al.* (2007).

Para o DNIT (2006), a definição da faixa granulométrica é orientada, em termos básicos, pelo estado da superfície do pavimento a ser tratado, não havendo uma especificação definitiva ou conclusiva sobre qual faixa deverá ser usada em cada situação – desgastes, fissuras, deformações, etc.

Já na opinião de BERNUCCI *et al.* (2007), a lama asfáltica é utilizada com agregados na granulometria grossa para repor a condição de atrito superficial e a resistência à derrapagem, com mínimo ou inexistente acréscimo estrutural. Essa classificação da faixa granulométrica é a que melhor proporciona rugosidade ao pavimento.

Em todo caso, a definição da faixa granulométrica a ser empregada nessa situação específica deve partir de orientações técnicas de cada administração aeroportuária ou, se inexistir algo específico nesse sentido, da agência reguladora dos serviços, no caso a ANAC.

Para a ICAO (1983) a aplicação de lama asfáltica deve ocorrer em áreas com baixa intensidade de tráfego. Diante dessa consideração, a lama asfáltica, para efeito desta pesquisa, será recomendada quando o coeficiente de atrito apresentar uma condição regular tendendo para a adequada e, do mesmo modo, o pavimento estiver localizado em aeroporto com pequeno volume de tráfego. Quanto a esse tema – movimento e/ou tráfego, posteriormente neste item serão apresentadas algumas considerações admitidas para a pesquisa.

Ainda para FONSECA (1990) e ICAO (1997), a correção definitiva desse problema deve ocorrer mediante a execução de Camada Porosa de Atrito – CPA ou *Grooving*, estratégias de manutenção específicas números 9 e 11, respectivamente conforme a Tabela 6.2.

A CPA, de acordo com a ICAO (1983), desde que aplicada seguindo-se as mais rigorosas especificações, é bastante eficaz. Essa técnica mantém o coeficiente de atrito e, por consequência, a macrotextura, num valor relativamente alto e constante durante um grande período de tempo, devido a sua porosidade e sua durabilidade.

A ICAO (1983) não recomenda a execução de CPA nas cabeceiras da pista de pousos e de decolagens e lembra que deve haver uma preparação da superfície antes desta receber o CPA. Essas pistas devem possuir capas de rolagem impermeáveis e de grande estabilidade. Isso é necessário para garantir a circulação rápida da água por debaixo daquela capa de rolamento sobre o asfalto impermeável.

BERNUCCI *et al.* (2007) apresentam aspectos de dosagem e especificações para a CPA, também denominado como mistura asfáltica drenante. A CPA possui uma adequada característica de drenagem porque possui um elevado volume de vazios na mistura asfáltica, motivada pela composição de agregados com graduação aberta. Tal situação permite a percolação de água no seu interior.

Pode-se citar a experiência de utilização de CPA na pista principal do Aeroporto Santos Dumont, no Rio de Janeiro, em 1999, conforme cita BERNUCCI *et al.* (2007). A CPA foi aplicada sobre um pavimento superposto nos 923 m centrais, com um coeficiente de atrito mínimo de 0,61, medidos com o *Mu-Meter*. A CPA foi renovada quatro anos após, e 2003, nos pontos de maior uso, objetivando manter esse nível de coeficiente de atrito.

O *grooving*, conforme já foi descrito nesta pesquisa, é um dos métodos mais eficazes de se eliminar água da superfície dos pavimentos aeroportuários, em virtude das ranhuras transversais ao eixo da pista de pousos e de decolagens que facilitam o escoamento da água acumulada. Tal procedimento, como se sabe, proporciona um aumento efetivo da resistência à derrapagens e prevenção da aquaplanagem.

Não existem restrições operacionais para a execução do *grooving*. Na maior parte das vezes, essa técnica proporciona um aumento mensurável do coeficiente de atrito, ainda que o grau de melhoria esteja relacionado com a qualidade do revestimento existente. A durabilidade do *grooving* dependerá, especialmente, do revestimento, do clima e do tráfego. O problema mais constante encontrado por ocasião da presença de *grooving* nos pavimentos aeroportuários está relacionado ao intenso acúmulo de borracha nas suas ranhuras, ocasionado pelo desgaste dos pneus ser ligeiramente superior que o normal (ICAO, 1983).

Após a escolha e execução da estratégia de restauração escolhida, é necessário que o pavimento seja acompanhado continuamente como forma de se evitar o retorno dos mesmos problemas ou o surgimento de outros. Para isso recomenda-se, numa segunda fase, a aplicação de alguma ação de conservação.

Inspeções visuais, conforme os números 1, 2 e 3 da Tabela 6.2 para as estratégias de manutenção específica, devem ser iniciadas durante o período de execução dos serviços de restauração apontados anteriormente, caso a pista de pousos e de decolagens seja aberto ao tráfego após o término de cada etapa da obra. Caso contrário, recomenda-se iniciar as inspeções logo depois de concluída a restauração.

A frequência de medição das inspeções dependerá do número de operações, especialmente as relativas à quantidade de pouso/dia. Esta pesquisa propõe baseada nas considerações da ANAC (DAC, 2001), quanto à medição de atrito nos aeroportos brasileiros, o que se apresenta na Tabela 6.6.

**Tabela 6.6 – Frequência de realização das inspeções visuais.**

Pousos Diários	Inspeções Visuais
Menos de 50	Mensal
De 51 a 450	Quinzenal
Mais de 450	Semanal

Dependendo das condições superficiais encontradas durante essas inspeções, ensaios extras de macrotextura e de coeficiente de atrito, de acordo com os números 4 e 5 da Tabela 6.2 para as estratégias de manutenção específica, devem ser realizadas

como forma de se atestar as reais condições da superfície do pavimento. Os valores apresentados podem requerer novas ações de restauração.

Ressalte-se que, em última instância ou numa terceira fase, a estratégia de manutenção denominada Reconstrução de Revestimento, número 13 das estratégias de manutenção específica da Tabela 6.2, somente deverá ser aplicada quando todas as outras tiverem sido executadas e não proporcionaram o efeito esperado de acordo com o elaborado na fase de projeto e planejamento. Outra condição para sua aplicação reside no fato dessa estratégia ser, porventura, mais econômica do que as outras propostas.

Os dados descritos para essa situação de macrotextura muito fechada serão resumidos e apresentados através da Tabela 6.7, como forma de facilitar o entendimento das propostas, assim como uma posterior busca pelas estratégias propostas.

**Tabela 6.7** – Resumo das estratégias de manutenção propostas para macrotextura muito fechada e as condições de coeficiente de atrito.

Macrotextura	Coeficiente de Atrito	Estratégia de Manutenção Geral	Estratégia de Manutenção Específica	Código	
Muito Fechada (Inadequada)	Inadequado	Restauração - R -	1ª Fase:		
			6. Lama Asfáltica	R/6	
			9. CPA	R/9	
			11. <i>Grooving</i>	R/11	
				13. Reconstrução do Revestimento	R/13
	Regular	Adequado	Conservação - C -	2ª Fase:	
				Inspeções Visuais:	
				1. Semanal	C/1
				2. Quinzenal	C/2
				3. Mensal	C/3
Ensaio Extras:					
4. Macrotextura	C/4				
			5. Coeficiente de Atrito	C/5	

A segunda proposta de estratégia de manutenção para os pavimentos aeroportuários será referente à macrotextura fechada, que possui uma profundidade média da mancha de areia compreendida entre 0,20 mm e 0,40 mm, combinada às condições de coeficiente de atrito.

Essa situação é também desfavorável ao pavimento, mesmo que o coeficiente de atrito apresente condições adequadas, evento este que terá uma probabilidade bastante pequena, como já mencionada antes.

Como as estratégias devem ser propostas para a condição mais adversa para o pavimento, então da mesma forma que para a situação anterior, para a qual se mostrou uma macrotextura muito fechada, sugere-se a aplicação da restauração, num primeiro estágio, acompanhada de uma conservação.

Contudo, supõe-se que as estratégias de manutenção indicadas para esse caso tendem a ser menos enérgicas e rigorosas que àquelas propostas para a situação antecedente, apesar de não se encontrar restrições técnicas ou operacionais para a aplicação daquelas nesta situação específica, em que o pavimento apresenta uma macrotextura fechada.

Nessa fase, o problema mais comum e verificado nos pavimentos aeroportuários que os leva a essas condições é a presença de depósitos de borracha acumulada na superfície do revestimento que não foram removidos no tempo recomendado, conforme orientações demandadas, como já se relatou nesta pesquisa, pela ANAC (DAC, 2001).

Desse modo, numa primeira fase, a estratégia específica recomendada é a Remoção do Contaminante, correspondente ao número 12 da Tabela 6.2. Esse contaminante como já registrado anteriormente, na maioria dos casos, é a borracha proveniente dos pneus das aeronaves que se impregnam no revestimento principalmente durante os procedimentos de pousos.

A extinção do contaminante pode ocorrer através de algum dos métodos já descritos no item 5.5, Capítulo 5 desta pesquisa, sendo o principal utilizado o jato de água de alta pressão.

Após a remoção, numa segunda fase, sugere-se a realização de ensaios extras de macrotextura e de coeficiente de atrito para se comprovar o quanto positivo foram os efeitos do processo de remoção do contaminante sobre o pavimento. Caso não se tenha obtido resultados adequados que tenham elevado as condições funcionais do pavimento, recomenda-se a execução de alguma das técnicas elencadas para a condição de macrotextura muito fechada.

Em caso positivo, as inspeções visuais devem ser iniciadas, tendo a frequência baseada no movimento operacional do aeroporto, conforme mostrado na Tabela 6.5.

Dependendo das condições encontradas no pavimento durante essas inspeções, fazem-se as mesmas recomendações quanto aos ensaios extras de macrotextura e de coeficiente de atrito, como um método de se verificar o decréscimo desses valores e a promoção de novas ações de restauração.

Assim como para a macrotextura muito fechada, os dados descritos para essa situação serão resumidos e apresentados através da Tabela 6.8.

**Tabela 6.8** – Resumo das estratégias de manutenção propostas para macrotextura fechada e as condições de coeficiente de atrito.

Macrotextura	Coeficiente de Atrito	Estratégia de Manutenção Geral	Estratégia de Manutenção Específica	Código
		Restauração - R -	1ª Fase: 12. Remoção do Contaminante	R/12
	Inadequado		2ª Fase: Ensaio Extras:	
Fechada (Inadequada)	Regular	Conservação	4. Macrotextura	C/4
			5. Coeficiente de Atrito	C/5
	Adequado	- C -	Inspeções Visuais:	
			1. Semanal	C/1
			2. Quinzenal	C/2
			3. Mensal	C/3

Outra situação que compreenderá a terceira proposta de estratégia de manutenção será referente à macrotextura média, que possui uma profundidade média da mancha de areia compreendida entre 0,40 mm e 0,80 mm, combinada às condições de coeficiente de atrito. Vale lembrar que é nesta situação que se encontra o valor de referência adotado para os pavimentos aeroportuários que é de 0,50 mm.

Nesta fase a macrotextura encontra-se numa condição de adequabilidade. Na maioria das situações, apenas estratégias de conservação são suficientes para prover um eficiente cenário de segurança contra a aquaplanagem, isso quando o pavimento possui adequadas condições de coeficiente de atrito. Caso contrário, a situação será desfavorável para o pavimento, necessitando de ações de restauração.

As estratégias de conservação podem ser iniciadas com as inspeções visuais que deverão variar com o movimento operacional do aeroporto, conforme explicado anteriormente.



Ensaio extras de macrotextura e de coeficiente de atrito, caso seja constatada alguma deficiência na superfície do revestimento durante aquelas inspeções, como o acúmulo anormal de borracha ou algum outro defeito funcional, devem ser realizados em uma segunda fase.

Nas demais condições de coeficiente de atrito, inadequado ou regular, estratégias de restauração devem ser aplicadas, seguidas obrigatoriamente de um processo contínuo de conservação objetivando buscar condições ideais para o pavimento.

Nestes casos, a sugestão desta pesquisa é que se execute o serviço número 10 da Tabela 6.2, o SMA – *Stone Matrix Asphalt* ou Matriz Pétreo Asfáltica, seguida das ações de conservação já conhecidas e aqui explicitadas.

Para BERNUCCI *et al.* (2007), assim como a CPA, o SMA é utilizado para melhorar as condições de atrito e o escoamento da água da superfície. A diferença está na graduação descontínua da curva granulométrica, pois o SMA possui grãos de maiores dimensões em quantidade dominante em relação aos grãos de dimensões intermediárias, completados por certa quantidade de finos. A composição de um SMA proporciona a formação de pequenos canais entre os agregados graúdos, oferecendo uma eficiente drenagem superficial e um aumento da aderência pneu-pavimento em dias de chuva.

Além disso, ainda segundo BERNUCCI *et al.* (2007), o SMA apresenta algumas características de desempenho, tais como: boa estabilidade a elevadas temperaturas, elevada resistência ao desgaste e boa resistência à derrapagem, podendo ser aplicado em vias com alta frequência de caminhões, em áreas de carga e descarga e pistas de aeroportos.

Após a remoção, numa segunda fase, sugere-se a realização de ensaios extras de macrotextura e de coeficiente de atrito para se comprovar o quanto positivo foram os efeitos do processo de remoção do contaminante sobre o pavimento. Caso não se tenha obtido resultados adequados que tenham elevado as condições funcionais do pavimento, recomenda-se a execução de alguma das técnicas elencadas para a condição de macrotextura muito fechada.

O resumo das proposições para esta situação de macrotextura média é apresentada na Tabela 6.9. A diferença desta tabela para as outras apresentadas é que há uma divisão entre as condições de coeficiente de atrito, uma vez que a condição mais desfavorável para o pavimento será quando este índice estiver numa condição regular ou inadequada, necessitando, portanto, de ações de restauração e conservação.

**Tabela 6.9** – Resumo das estratégias de manutenção propostas para macrotextura média e as condições de coeficiente de atrito.

Macrotextura	Coeficiente de Atrito	Estratégia de Manutenção Geral	Estratégia de Manutenção Específica	Código
Média (Adequada)	Inadequado	Restauração - R -	1ª Fase: 10. SMA	R/10
		Regular	Conservação - C -	2ª Fase: Inspeções Visuais:
	1. Semanal			C/1
	2. Quinzenal			C/2
	3. Mensal			C/3
	Ensaio Extras:			
	Adequado	Conservação - C -	4. Macrotextura	C/4
			5. Coeficiente de Atrito	C/5
			1ª Fase:	
			Inspeções Visuais:	
1. Semanal			C/1	
		2. Quinzenal	C/2	
		3. Mensal	C/3	
		2ª Fase:		
		Ensaio Extras:		
		4. Macrotextura	C/4	
		5. Coeficiente de Atrito	C/5	

As duas propostas restantes serão destinadas ao estado em que a macrotextura encontra-se aberta, para uma profundidade média da mancha de areia entre 0,80 mm e 1,20 mm, e muito aberta, quando a profundidade média é superior a 1,20 mm.

Um pavimento aeroportuário nestas situações tem sua condição funcional classificada como regular ou pode-se sugerir que seja até mesmo adequada, uma vez que os valores de referência daqueles parâmetros estão bastante elevados.

Entretanto, a ocorrência de tal situação leva a superfície dos pavimentos a apresentarem inicialmente excelentes condições de macrotextura e de coeficiente de atrito, muito acima dos limites recomendados, no entanto por outro lado, permite a formação mais acelerada de depósitos de borracha devido ao maior desgaste dos pneus

das aeronaves, levando-os a uma condição inadequada bem antes do que se poderia prever.

Assim sendo, a superfície do pavimento necessita de uma correção que o leve a uma classificação média de macrotextura, bem como a um adequado coeficiente de atrito, de tal modo que os índices permaneçam um pouco acima dos valores preconizados.

Para FONSECA (1990), o problema de macrotextura muito aberta pode ser corrigida através do lançamento de uma cobertura de lama asfáltica de granulometria média ou grossa, a depender dos tamanhos dos vazios a preencher. Tal procedimento conduz a superfície do pavimento a uma condição de média macrotextura e adequado coeficiente de atrito.

A técnica recomendada por FONSECA (1990) pode ser executada nos pavimentos aeroportuários, contudo como esta pesquisa já propôs a execução de lama asfáltica anteriormente para situação de macrotextura muito fechada, conforme Tabela 6.6, neste ponto, para a situação de macrotextura aberta ou muito aberta, propõe a execução de dois tipos distintos de restauração: o Tratamento Superficial – Simples, Duplos ou Triplos, e o Microrevestimento Asfáltico – à Frio ou à Quente, respectivamente números 7 e 8 da Tabela 6.2 de resumo das estratégias de manutenção.

Assim como aplicado para as outras situações, essas técnicas de restauração estarão sempre acompanhadas de ações de conservação.

No que diz respeito aos tratamentos superficiais, BERNUCCI *et al.* (2007) explica que dentre as suas principais funções está a promoção de uma camada de rolamento de pequena espessura e de alta resistência ao desgaste, além de assegurar um revestimento antiderrapante e restaurar a aderência superficial.

Os tratamentos superficiais são revestimentos flexíveis de espessura delgada, executado por espalhamento sucessivo de ligante asfáltico e agregado, que podem ser executados sobre quaisquer tipos de revestimentos que não possuam irregularidades significativas e sérios defeitos estruturais (BERNUCCI *et al.*, 2007).

A escolha pelo tipo de camada sucessiva de ligante e agregados que indica o caráter de simples, duplo ou triplo aos tratamentos superficiais é uma decisão que deve partir de cada administração aeroportuária baseada em suas diretrizes técnicas, assim como em diversos fatores como movimento operacional, clima, disponibilidade financeira, dentre outros.

Já os microvestimentos asfálticos, segundo DNIT (2006), são destinados a prover uma superfície resistente ao escorregamento e à abrasão do tráfego, aumentando o desempenho funcional do pavimento.

No julgamento de BERNUCCI *et al.* (2007), os microvestimentos são uma evolução das lamas asfálticas, porém se diferenciam pela utilização de emulsões modificadas com polímero objetivando alcançar uma maior vida útil para o pavimento. DNIT (2006) partilha da mesma opinião de BERNUCCI *et al.* (2007), acrescentando que os microvestimentos exigem um cumprimento mais rigoroso quanto às especificações de drenagem, além de ser mais durável e apresentar as mesmas facilidade executivas da lama asfáltica.

Considerações sobre a escolha do tipo de microvestimento, se à quente ou à frio, assim como descrito para os modos de execução dos tratamentos superficiais, deve ser uma seleção de cada administração aeroportuária que precisa estar fundamentada em parâmetros técnicos e normativos.

As Tabelas 6.10 e 6.11 apresentam as propostas de restauração e conservação para os casos de macrotextura aberta e muito aberta, respectivamente, associada às diferentes condições de coeficiente de atrito.

Com a macrotextura naquelas circunstâncias, mesmo que o pavimento apresente adequadas condições de atrito, a situação será desfavorável à superfície do pavimento, requerendo ações iniciais de restauração e posteriormente de conservação.

**Tabela 6.10** – Resumo das estratégias de manutenção propostas para macrotextura aberta e as condições de coeficiente de atrito.

Macrotextura	Coeficiente de Atrito	Estratégia de Manutenção Geral	Estratégia de Manutenção Específica	Código
Aberta (Regular)	Inadequado	Restauração - R -	<u>1ª Fase:</u> 7. Tratamento Superficial	R/7
		Regular	Conservação - C -	<u>2ª Fase:</u> Inspeções Visuais:
	1. Semanal			C/1
	2. Quinzenal			C/2
	Adequado		3. Mensal	C/3
			Ensaio Extras: 4. Macrotextura	C/4
			5. Coeficiente de Atrito	C/5

**Tabela 6.11** – Resumo das estratégias de manutenção propostas para macrotextura muito aberta e as condições de coeficiente de atrito.

Macrotextura	Coeficiente de Atrito	Estratégia de Manutenção Geral	Estratégia de Manutenção Específica	Código
Muito Aberta (Regular)	Inadequado	Restauração - R -	<u>1ª Fase:</u> 8. Microrevestimento Asfáltico	R/8
		Regular	Conservação - C -	<u>2ª Fase:</u> Inspeções Visuais:
	1. Semanal			C/1
	2. Quinzenal			C/2
	Adequado		3. Mensal	C/3
			Ensaio Extras: 4. Macrotextura	C/4
			5. Coeficiente de Atrito	C/5

Um resumo geral das estratégias de manutenção propostas para os pavimentos aeroportuários, descritos nesta pesquisa, é apresentado através da Tabela 6.12.

**Tabela 6.12** – Resumo geral das estratégias de manutenção propostas para todas as classes de macrotextura e as condições de coeficiente de atrito.

Macrotextura	Coeficiente de Atrito	Estratégia de Manutenção Geral	Estratégia de Manutenção Específica	Código
Muito Fechada (Inadequada)	Inadequado	Restauração - R -	1ª Fase: 6. Lama Asfáltica	R/6
			9. CPA	R/9
	Regular	Conservação - C -	11. <i>Grooving</i>	R/11
			13. Reconstrução do Revestimento	R/13
			2ª Fase: Inspeções Visuais	C/1
Adequado	Conservação - C -	Ensaio Extras	C/2	
			C/3	
			C/4	
			C/5	
Fechada (Inadequada)	Inadequado	Restauração - R -	1ª Fase: 12. Remoção do Contaminante	R/12
			2ª Fase: Ensaio Extras	C/4
	Regular	Conservação - C -	Inspeções Visuais	C/5
			Ensaio Extras	C/1
			Inspeções Visuais	C/2
Adequado	Conservação - C -		C/3	
Média (Adequada)	Inadequado	Restauração - R -	1ª Fase: 10. SMA	R/10
			2ª Fase: Inspeções Visuais	C/1
	Regular	Conservação - C -	Ensaio Extras	C/2
			Ensaio Extras	C/3
			Ensaio Extras	C/4
	Adequado	Conservação - C -	Inspeções Visuais	C/5
			Inspeções Visuais	C/1
			C/2	
			C/3	
			C/4	
			C/5	
Aberta (Regular)	Inadequado	Restauração - R -	1ª Fase: 7. Tratamento Superficial	R/7
			2ª Fase: Inspeções Visuais	C/1
	Regular	Conservação - C -	Ensaio Extras	C/2
			Ensaio Extras	C/3
			Ensaio Extras	C/4
Adequado	Conservação - C -		C/5	
Muito Aberta (Regular)	Inadequado	Restauração - R -	1ª Fase: 8. Microrevestimento Asfáltico	R/8
			2ª Fase: Inspeções Visuais	C/1
	Regular	Conservação - C -	Ensaio Extras	C/2
			Ensaio Extras	C/3
			Ensaio Extras	C/4
Adequado	Conservação - C -		C/5	

É importante advertir que, independente da proposta escolhida, deve ser realizado um planejamento adequado por parte do corpo técnico da administração aeroportuária, com apoio irrestrito do seu maior dirigente.

As atividades de planejamento a serem cumpridas pela administração aeroportuária devem ser precedidas de análises e de avaliações das deficiências existentes nos pavimentos, tanto em nível de rede como em nível de projeto, indicando os pontos críticos para restauração imediata, bem como estabelecendo as prioridades e as alternativas de projeto, com fundamento em dados sobre materiais, tráfego, clima, custos, dentre outros. Isso dentro de uma programação compatível com os recursos operacionais e orçamentários disponibilizados.

Outro fator a ser tratado diz respeito ao cumprimento das etapas que envolvem a execução dos serviços. Ações no sentido da prevenção de acidentes devem ser aplicadas como demarcação da área a ser trabalhada, isolamento, sinalização, controle de acessos de pessoas, viaturas e equipamentos e, em especial, fiscalização integral dos serviços de limpeza da área, sobretudo ao término de cada serviço.

A limpeza da área é essencial, pois se deve a questão da presença de detritos nas superfícies dos pavimentos aeroportuários que, como apresentado em capítulos anteriores, podem causar sérios danos às aeronaves e seus equipamentos provocando acidentes e/ou incidentes.

Quando os serviços forem realizados nas áreas de pistas dos aeroportos é imprescindível que a administração aeroportuária providencie a divulgação das informações necessárias aos órgãos e as empresas interessados e igualmente a expedição de NOTAM – *Notice do Air Man*, para que os aeronavegantes, ou seja, os pilotos das aeronaves sejam antecipadamente informados sobre a situação das obras e/ou serviços naquelas pistas, principalmente quanto aos dias e horários.

Independente das obras serem realizados com pista totalmente fechada ou parcialmente aberta, com as operações de pousos e de decolagens ocorrendo simultaneamente à execução dos serviços, o que não é recomendado por questões de segurança, a informação prévia é primordial para que os operadores aéreos façam seus planejamentos de capacidade dos vôos baseados na disponibilidade da infraestrutura.

## 6.5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As propostas de manutenção destinadas aos pavimentos aeroportuários apresentadas no transcórre deste capítulo, baseadas em combinações de valores e de condições funcionais da macrotextura e do coeficiente de atrito, servem de subsídio para que os tomadores de decisões das administrações aeroportuárias promovam ações de restauração e de conservação, tendo o maior retorno possível para o aeroporto. Esse retorno deve ser traduzido pela comprovada redução e, sobretudo, eliminação dos acidentes e/ou incidentes envolvendo derrapagens de aeronaves naquelas pistas.

É importante ressaltar que cada administração aeroportuária é inteiramente autônoma no que diz respeito à escolha das estratégias aqui propostas. Não é finalidade desta pesquisa impor a escolha integral de uma determinada estratégia sugerida, até mesmo porque a decisão deve partir de uma série de fatores e circunstâncias.

Assim, seguem no capítulo posterior, as conclusões e as recomendações obtidas por ocasião desta pesquisa, como forma de fomentar novos estudos e investigações no campo aeroportuário.



## CAPÍTULO 7

### CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

As conclusões obtidas a partir da análise dos dados e demais informações apresentadas no transcorrer desta pesquisa, assim como algumas recomendações para seguimento de trabalhos e continuidade de outros estudos, pesquisas e análises no campo aeroportuário serão expostos neste último capítulo.

#### 7.1. CONCLUSÕES

As principais conclusões que serão apresentadas a seguir, não serão expostas por capítulo ou por determinado argumento, mas sim pela combinação de assuntos que são intrínsecos entre si. Desse modo, conclui-se que:

- a) uma maior preocupação com as condições funcionais dos pavimentos aeroportuários brasileiros foi verificada mais intensamente a partir de meados do ano 2000, apesar de existirem registros de ensaios de macrotextura e de coeficiente de atrito, e levantamentos no final dos anos 90, especificamente para o Aeroporto Internacional de Fortaleza;
- b) os ensaios de macrotextura e de coeficiente de atrito apresentados nesta pesquisa foram, na maior parte, realizados em períodos distintos, o que proporciona obter conclusões imprecisas ou não correspondentes;
- c) provavelmente, a lacuna registrada no item anterior pudesse ter sido resolvida com a aplicação de um Sistema de Gerência de Pavimentos Aeroportuários – SGPA. Apesar de ser uma necessidade para toda e qualquer administração aeroportuária, atualmente o Aeroporto Internacional de Fortaleza não dispõe de tal ferramenta. Da mesma forma, não se tem informações concretas por parte da INFRAERO de que um SGPA esteja sendo utilizado em outro aeroporto da rede;

- d) o uso de um SGPA conduziria o corpo técnico da administração aeroportuária em Fortaleza ou na sede da Empresa, em Brasília, a realizar um planejamento mais efetivo quanto à execução das atividades de manutenção, não permitindo um tempo demasiado longo sem qualquer tipo de intervenção – restauração e conservação;
- e) a avaliação das condições funcionais através da metodologia internacional denominada PCI – *Pavement Condition Index*, não foi possível de ser realizada na pista de pousos e de decolagens do Aeroporto Internacional de Fortaleza, apesar de ter sido a pretensão original desta pesquisa. Tal fato deveu-se ao intenso movimento de pousos e de decolagens no Aeroporto, impedindo a permanência naquela pista pelo tempo necessário para execução do levantamento;
- f) visivelmente a pista de pousos e de decolagens do Aeroporto Internacional de Fortaleza não apresenta grandes problemas estruturais apesar da idade e tempo de uso intenso;
- g) por outro lado, existem inúmeros e graves problemas funcionais, tais como buracos, trincas transversais e longitudinais, desgastes, sendo o pior e mais comum deles o acúmulo de borracha no revestimento;
- h) a questão do acúmulo de borracha se agrava especialmente quando da presença de água na superfície. Em pista seca e em adequadas condições funcionais e estruturais, esse acúmulo não gera grandes problemas;
- i) a solução imediata para controlar e minimizar os efeitos danosos dessa problemática, até então utilizada pela maioria das administrações aeroportuárias brasileiras, tem sido a remoção do contaminante – borracha através do hidrojateamento de água de alta pressão. Contudo, essa técnica, a longo prazo, não tem trazido grandes benefícios aos aeroportos, haja vista que proporciona desgaste aos revestimentos necessitando da aplicação de outras tecnologias reconhecidas e recomendadas pela Organização da Aviação Civil Internacional – ICAO;
- j) possivelmente o problema do trecho da pista de pousos e de decolagens recuperado em 2004 foi a execução, uma vez que não houve registros de

problemas quanto as especificações dos materiais. Outro fato a se considerar, está no fato da abertura prematura da pista ao tráfego;

- k) uma única pista de pousos e de decolagens para um aeroporto do tamanho e da intensidade operacional que possui o Aeroporto Internacional Pinto Martins, ocasiona um desgaste intenso do pavimento, dado ao uso constante. A situação se agrava pela falta de aplicação de ações de manutenção que visem prolongar sua vida útil.

## **7.2. RECOMENDAÇÕES PARA PESQUISAS FUTURAS**

As recomendações aqui apresentadas têm o objetivo de dar continuidade a trabalhos e outros estudos, pesquisas e análises no campo aeroportuário, além de servir como subsídio às ações das administrações aeroportuárias e da Agência Nacional de Aviação Civil brasileira.

Faz necessário ainda esclarecer que não se tratam de verdades absolutas que devem ser seguidas rigorosamente por aqueles que assim o desejarem.

Dentre as principais recomendações desta pesquisa, tem-se:

- a) o desenvolvimento de um SGPA ou alguma ferramenta com os mesmos princípios e atividades para a rede INFRAERO e outras administrações aeroportuárias, ou especificamente para o Aeroporto Internacional de Fortaleza;
- b) a realização de ensaios de macrotextura e de coeficiente de atrito em períodos contíguos, visando aproximar os valores com relação às reais condições funcionais do pavimento;
- c) a efetivação de pesquisas ou estudos para correlacionar os valores obtidos para a macrotextura e o coeficiente de atrito, buscando uma classificação padrão e/ou unificada;
- d) a determinação exata na pista de pousos e de decolagens dos pontos de medição da macrotextura, por ocasião do ensaio da mancha de areia, através de processos georeferenciados ou pela marcação da luzes laterais

- de marcação e/ou orientação dessas pistas, uma vez que não é possível fazer qualquer tipo de pintura na superfície do pavimento, pois tal ação pode comprometer a sinalização horizontal;
- e) a execução de medição da macrotextura através das outras técnicas e/ou ensaios recomendados pela ICAO, com o objetivo de procurar associar os valores encontrados com o ensaio mais comum, o da macha de areia;
  - f) a padronização dos ensaios de coeficiente de atrito através da utilização de um único equipamento de medição. Tal equipamento deve estar à disposição da administração aeroportuária para a realização dos ensaios sempre que necessário;
  - g) o estudo para aplicação das outras técnicas de extinção da borracha acumulada, recomendadas pela ICAO, com o objetivo de se analisar a viabilidade operacional, os custos e os benefícios de tal execução;
  - h) o planejamento para construção de uma pista auxiliar de pousos e de decolagens para o Aeroporto Internacional de Fortaleza, de modo a facilitar a aplicação das técnicas de manutenção e otimizar a operacionalidade do aeroporto;
  - i) a elaboração de legislação específica destinada às administrações aeroportuárias para aplicação efetiva de técnicas de manutenção que prolonguem a vida útil do pavimento, especialmente devido à introdução de modernas e potentes aeronaves no mercado nacional e internacional que seguramente irão requerer uma maior disponibilidade das condições funcionais e de resistência das pistas e dos pátios dos aeroportos;
  - j) o treinamento contínuo da equipe técnica das administrações aeroportuárias e da agência reguladora para conduzir e fiscalizar as avaliações de condições dos pavimentos;
  - k) o levantamento das condições estruturais dos pavimentos do Aeroporto Internacional de Fortaleza, em especial da pista de pousos e de decolagens, através de metodologia apropriada, recomendada e reconhecida, como forma de se analisar a real situação dessas condições.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AASHTO (1985) *Guidelines on Pavement Management*. American Association of State Highway and Transportation Officials. Washington, DC.
- AASHTO (1993) *AASHTO Guide for Design of Pavement Structures*. American Association of State Highway and Transportation Officials. Washington, DC.
- ABNT (1994) *NBR 5462 – Confiabilidade e Manutenibilidade*. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, RJ.
- ABPV (1996) *Projeto de Pavimentação de Aeroportos. Método FAA-ICAO*. Associação Brasileira de Pavimentação. Rio de Janeiro, RJ.
- AGÊNCIA BRASIL (2008) *Imagens das obras no Aeroporto de Congonhas*. Disponível em <<http://www.agenciabrasil.gov.br>>. Acessado em 15/11/2007.
- AGMAP (2008) *FB Concrete Grooving*. Disponível em <<http://agmap.psu.edu>>. Acessado em 15/11/2007.
- ANAC (2008a) *Estatística. Sistema Aeroportuário*. Agência Nacional de Aviação Civil. Disponível em <<http://www.anac.gov.br>>. Acessado em 23/04/2008.
- ANAC (2008b) *Resistência de Pavimentos dos Aeródromos – IAC 157-1001*. Instrução de Aviação Civil. Agência Nacional de Aviação Civil. Ministério da Defesa. Brasília, DF.
- ANDUZE, A. R. S., KATO, L. Q. e ALEMÃO M. M. (1981) *Manual de Manutenção de Pavimentos de Aeroportos*. Trabalho de Graduação. Instituto Tecnológico da Aeronáutica. Divisão de Infra-Estrutura Aeronáutica. São José dos Campos, SP.
- ARGUE, G. H. (2005) *Canadian Airfield Pavement. Engineering Reference*. Ottawa, Canada.
- ARTESP (2008) *Avanço tecnológico em pavimentação na malha rodoviária concedida do estado de São Paulo*. Agência Reguladora de Transporte do Estado de São Paulo. Disponível em <<http://www.artesp.sp.gov.br>>. Acessado em 23/02/2008.
- ASHFORD, N. e WRIGHT, P. H. (1992) *Airport Engineering*. Third Edition. Wiley-Interscience Publication. New York.
- ASPHALT INSTITUTE (1983) *Asphalt in Pavement Maintenance*. Manual Series N° 16 (MS-16). Asphalt Institute. Washington, USA.
- ASTM (1998) *Standard Method for Measuring Frictional Properties Using The British Pendulum Tester*. American Society of Testing Materials. Annual Book of ASTM Standards, Road and Paving Materials. Vehicle-Pavement Systems, V. 04.03, USA.

- BALBO, J. T. (1997) *Pavimentos Asfálticos – Patologia e Manutenção*. Editora Plêiade. São Paulo, SP.
- BERNUCCI, L. B., MOTA, L. M. G., CERATI, J. A. P. e SOARES, J. B. (2007) *Pavimentação Asfáltica. Formação Básica para Engenheiros*. Petrobras. Abeda. Rio de Janeiro, RJ.
- BOEING (1982) *Pavements Assessment Report – Pinto Martins Airport / Fortaleza*. Boeing Comercial Airplanes. Seattle, Washington.
- BOEING (2008) *Statistical Summary of Commercial Jet Airplane Accidents. Worldwide Operations 1959 – 2006*. Boeing Comercial Airplanes. Seattle, Washington.
- BR DISTRIBUIDORA (2005) *Novas tecnologias aplicadas na reabilitação de pavimentos asfálticos*. Seminário de Gestão Rodoviária. Departamento de Edificações, Rodovias e Transportes do Estado do Ceará. Fortaleza, CE.
- BR DISTRIBUIDORA (2008) *O que é o microrevestimento e quando deve ser usado*. Disponível em <<http://www.br.com.br>>. Acessado em 19/02/2008.
- BROTON, M. e MCNEELY, S. (1995) *Virginia Aviation Pavement Management System: a historical perspective*. Transportation Research Record. Transportation Research Board Annual Meeting. July 1995. N. 1508, p. 84 – 91. Estados Unidos.
- BURMISTER, D. M. (1943) *The Theory of Stress and Displacements in Layer System and Applications to Design of Airport Runways*. V. 23. Highway Research Board.
- CARDOSO, S. H. (1988a) *Um Sistema de Gerência de Pavimentos Aeroportuários para São Paulo*. Projeto de Convênio INFRAERO – ITA. Instituto Tecnológico da Aeronáutica. Centro Aeroespacial. São José dos Campos, São Paulo.
- CARDOSO, S. H. (1988b) *Sugestão de um Sistema de Gerência de Pavimentos Aeroportuários para aeroportos brasileiros*. In: 23<sup>a</sup> Reunião Anual de Pavimentação – 23<sup>a</sup>. RAPv. Outubro de 1988. Florianópolis, SC.
- CAREY, W. N. e IRICK, P. E. (1960) *The Pavement Serviceability-Performance Concept*. HRB Bulletin 250.
- DAC (2001) *Requisitos de Resistência à Derrapagem para Pistas de Pouso e Decolagem – IAC 4302*. Instrução de Aviação Civil. Departamento de Aviação Civil. Comando da Aeronáutica. Brasília, DF.
- DECEA (2008) *Consultas NOTAM – Boletim de Localidade*. Departamento de Controle do Espaço Aéreo. Comando da Aeronáutica. Disponível em <<http://www.aisweb.aer.mil.br/aisweb>>. Acesso em 29/05/2008.
- DEMPSEY, P. S. (1999) *Airport Planning & Development Handbook: a Global Survey*. McGraw-Hill. New York.

- DER (2008) *Aeropostos*. Departamento de Edificações e Rodovias. Disponível em <<http://www.dert.ce.gov.br>>. Acessado em 25/04/2008.
- DESASTRES AÉREOS (2008) *Site de informações sobre acidentes e incidentes aéreos no Brasil e no mundo*. Disponível em <<http://www.desastresaereos.net>>. Acessado em 20/04/2008.
- DGAC (1999) *Gestion des Chaussées Aéronautiques. Méthode ACN-PCN. Chapitre 8. Instruction Technique sur les Aérodomes Civils*. Direction Générale de l'Aviation Civile. Service Technique de l'Aviation Civile. France.
- DGAC (2007). *Les Chaussées Aéronautiques*. Direction Générale de l'Aviation Civile. Service Technique de l'Aviation Civile. France.
- DIRENG (1978) *Avaliação das pistas e pátios. Aeroporto de Fortaleza*. Diretoria de Engenharia da Aeronáutica. Ministério da Aeronáutica. Brasília, DF.
- DIRENG (1979) *Estudo da Infra-Estrutura Aeronáutica no Brasil. Projeto Inventário - Aeroporto de Fortaleza*. Diretoria de Engenharia da Aeronáutica. Ministério da Aeronáutica. Brasília, DF.
- DIRENG (1985) *Projeto de reforço – Pista de pouso do Aeroporto de Fortaleza*. Diretoria de Engenharia da Aeronáutica. Ministério da Aeronáutica. Brasília, DF.
- DIRENG (1991) *Levantamento de Dados de Aeroportos Brasileiros*. Diretoria de Engenharia da Aeronáutica. Ministério da Aeronáutica. Brasília, DF.
- DNER (1994) *Método de Ensaio ME 024/94. Pavimento – determinação das deflexões pela viga Benkelman*. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Divisão de Capacitação Tecnológica. Rio de Janeiro, RJ.
- DNER (1996) *Procedimento PRO 273/96 – Determinação de deflexões utilizando deflectômetro de impacto tipo Weight Deflectometer (FWD)*. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Divisão de Capacitação Tecnológica. Rio de Janeiro.
- DNER (1997a) *Especificação de Serviço ES 308/97. Pavimentação – tratamento superficial simples*. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Divisão de Capacitação Tecnológica. Rio de Janeiro.
- DNER (1997b) *Especificação de Serviço ES 309/97. Pavimentação – tratamento superficial duplo*. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Divisão de Capacitação Tecnológica. Rio de Janeiro, RJ.
- DNER (1997c) *Especificação de Serviço ES 310/97. Pavimentação – tratamento superficial triplo*. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Divisão de Capacitação Tecnológica. Rio de Janeiro, RJ.

- DNER (1997d) *Especificação de Serviço ES 314/97. Pavimentação – lama asfáltica*. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Divisão de Capacitação Tecnológica. Rio de Janeiro, RJ.
- DNER (2000) *O Sistema Gerencial de Pavimentos do DNER*. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Divisão de Apoio Tecnológico. Rio de Janeiro, RJ.
- DNIT (2006) *Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos*. Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Rio de Janeiro, RJ.
- DOUGLAS EQUIPMENT (2008) *Mu-Meter*. Douglas Equipment. Disponível em <<http://www.douglas-equipment.com>>. Acesso em 21/01/2008.
- DYNATEST (2008a) *Pêndulo Britânico (Medidor de Atrito) e Mancha de Areia*. Dynatest Engenharia Ltda. Disponível em <<http://www.dynatest.com.br>>. Acesso em 18/02/2008.
- DYNATEST (2008b) *ACN/PCN Programa para Windows*. Dynatest Engenharia Ltda. Disponível em <<http://www.dynatest.com.br>>. Acesso em 25/03/2008.
- DYNATEST (2008c) *Falling Weight Deflectometer (FWD)*. Dynatest Engenharia Ltda. Disponível em <<http://www.dynatest.com.br>>. Acesso em 25/03/2008.
- ESPESCHIT, A. M. L. (1990) *Um sistema preliminar de gerência de pavimentos, a nível de projeto, para o Aeroporto Internacional de São Paulo – Guarulhos, baseado principalmente no PCI*. Relatório Final de Trabalho de Graduação. Instituto Tecnológico da Aeronáutica. Centro Aeroespacial. São José dos Campos, São Paulo.
- FAA (1995a) *Airport Pavement Design and Evaluation*. Advisory Circular – AC 150/5320-6D. Federal Aviation Administration. United States Department of Transportation. Washington, DC.
- FAA (1995b) *Airport Pavement Design for the Boeing 777 Airplane*. Advisory Circular – AC 150/5320-16. Federal Aviation Administration. United States Department of Transportation. Washington, DC.
- FAA (1997) *Measurement, construction and maintenance of skid-resistant airport pavement surfaces*. Advisory Circular – AC 150/5320-12C. Federal Aviation Administration. United States Department of Transportation. Washington, DC.
- FAA (2003a) *Development of a Computer Program — COMFAA — for Calculating Pavement Thickness and Strength*. Federal Aviation Administration. Airport Technology Research and Development Branch. United States Department of Transportation. Washington, DC.



- FAA (2003b) *Guidelines and Procedures for Maintenance of Airport Pavements*. Advisory Circular – AC 150/5380-6A. Federal Aviation Administration. United States Department of Transportation. Washington, DC.
- FAA (2006a) *Airport Pavement Management Program*. Advisory Circular – AC 150/5335-5A. Federal Aviation Administration. United States Department of Transportation. Washington, DC.
- FAA (2006b) *Standardized Method of Reporting Airport Pavement Strength - PCN*. Advisory Circular – AC 150/5380-7A. Federal Aviation Administration. United States Department of Transportation. Washington, DC.
- FERNANDES JÚNIOR, J. L., ODA, S. e ZERBINI, L. F. (1999) *Defeitos e atividades de manutenção e reabilitação em pavimentos asfálticos*. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Paulo, SP.
- FINN, F. N. (1979) *Management System for Pavement Maintenance*. Disponível em <<http://findarticles.com>>. Acesso em 15/01/2008.
- FINN, F. N. (1998) *Pavement Management System: past, present and future*. Disponível em <<http://findarticles.com>>. Acesso em 15/01/2008.
- FONSECA, O. A. (1990) *Manutenção de Pavimentos de Aeroportos*. Diretoria de Engenharia da Aeronáutica. Divisão de Estudos e Projetos de Infra-Estrutura. Ministério da Aeronáutica. Brasília, DF.
- FONSECA, O. A. (2003) *Airport Pavement Management Systems in Developing Countries Implementation Issues*. Seminário sobre Sistemas de Gerência de Pavimentos. Novembro 2003. Lima, Peru.
- GLUSHKOV, G. I., BABKOV, V. F., GORETSKY, L. I. e SMIRNOV, A. S. (1988) *Airport Engineering*. Mir Publishers Moscow. Union of Soviet Socialist Republics.
- GOOGLE EARTH (2008) *Software Google Earth*. Disponível em <<http://earth.google.com>>. Acessado em 20/04/2008.
- HAAS, R. (2001) *Reinveting the (Pavement Management) Wheel*. Fifth International Conference on Managing Pavements. Distinguished Lecture. August 2001. Seattle, Washington.
- HAAS, R. e HUDSON, W. R. (1978) *Pavement Management System*. Published by McGraw-Hill. New York, NY.
- HAAS, R., HUDSON, W. R. e ZANIEWSKI, J. (1994) *Modern Pavement Management*. Krieger Publishing Company. Malabar, Florida.
- HORONJEFF, R. (1966) *Aeroportos – Planejamento e Projeto*. McGraw-Hill Book Company. Rio de Janeiro, RJ.

- HUANG, Y. H. (1993) *Pavement Analysis and Design*. Prentice Hall. Englewood Cliffs, New Jersey.
- HUDSON, W. R., HAAS, R. e UDDIN, W. (1997) *Infrastructure Management: integrating desing, construction, maintenance, rehabilitation and renovation*. McGraw-Hill. Washington, DC.
- ICAO (1983) *Manual de proyecto de aeródromos. Parte 3. Pavimentos*. Segunda edición. Organización de Aviación Civil Internacional. Lima, Peru.
- ICAO (1997) *Manual-Guía de Administración del Mantenimiento de la Infraestructura Aeropotuaria*. Edición preliminar. Organización de Aviación Civil Internacional. Lima, Peru.
- ICAO (2002) *Manual de servicios de aeropuertos. Parte 2. Estado de la superficie de los pavimentos*. Cuarta edición. Organización de Aviación Civil Internacional. Lima, Peru.
- ICAO (2004) *Annex 14 to the Convention on International Civil Aviation. Aerodrome Design and Operations. Volume I.* 4<sup>th</sup> Edition. International Civil Aviation Organization. Montreal, Canada.
- ICAO (2005) *Annex 10 to the Convention on International Civil Aviation. Aeronautical Telecommunications. Volume II.* 4<sup>th</sup> Edition. International Civil Aviation Organization. Montreal, Canada.
- INFRAERO (2003) *Pavimentação / Resultado de Levantamento do PCI – Planta FZ.01/105.23/02092/00*. Empresa Brasileira de Infra-Estrutura Aeroportuária. Superintendência de Engenharia de Manutenção. Brasília, DF.
- INFRAERO (2005) *Curso de Manutenção de Pavimentos Aeroportuários*. Apostila do Curso. Empresa Brasileira de Infra-Estrutura Aeroportuária. Superintendência de Engenharia de Manutenção. Brasília, DF.
- INFRAERO (2007a) *Relatório Empresarial 2007*. Empresa Brasileira de Infra-Estrutura Aeroportuária. Brasília, DF.
- INFRAERO (2007b) *Procedimentos operacionais e executivos para medição de atrito, de macrotextura e remoção de borracha nas pistas de pouso e decolagem dos aeroportos*. Diretoria de Engenharia. Superintendência de Engenharia de Manutenção. Empresa Brasileira de Infra-Estrutura Aeroportuária. Brasília, DF.
- INFRAERO (2008a) *Portal de Dados Estatísticos*. Empresa Brasileira de Infra-Estrutura Aeroportuária. Diretoria de Operações. Disponível em <<http://opnet.infranet.gov.br/estatistica>>. Acessado em 22/04/2008.
- INFRAERO (2008b) *A INFRAERO e o desafio do novo Brasil*. Empresa Brasileira de Infra-Estrutura Aeroportuária. Disponível em <<http://www.infraero.gov.br>>. Acessado em 23/04/2008.

- INFRAERO (2008c) *Ficha Técnica do Aeroporto Internacional Pinto Martins*. Empresa Brasileira de Infra-Estrutura Aeroportuária. Fortaleza, CE.
- INFRAERO (2008d) *Arquivo Técnico do Aeroporto Internacional Pinto Martins*. Empresa Brasileira de Infra-Estrutura Aeroportuária. Fortaleza, CE.
- INFRAERO (2008e) *Relatório de Informação das Pistas*. Empresa Brasileira de Infra-Estrutura Aeroportuária. Superintendência de Empreendimentos de Engenharia. Diretoria de Engenharia. Brasília, DF.
- IPIRANGA ASFALTOS (2008) *SMA – Stone Matrix Asphalt*. Disponível em <<http://www.ipirangaasfaltos.com.br>>. Acessado em 19/02/2008.
- KAZDA, A. e CAVES, R. E. (2000) *Airport Design and Operation*. Ed. Pergamon. New York, NY.
- LAMM, L. P. (1985) *Major Pavement Investment Management Issues and Prospects for U. S. Federal Highway Network*. North American Pavement Management Conference Proceedings. V. I, p. 1.5 – 1.14. Ontario Ministry of Transportation and Communication. Toronto, Canada.
- MACEDO, M. C. (2005) *Estudo para a base técnica de um Sistema de Gerência de Pavimentos para rede regionais de aeroporto*. Tese de Doutorado. Instituto Tecnológico da Aeronáutica. São José dos Campos, São Paulo.
- MACEDO NETO, M. U. (1992) *Um Sistema de Gerência de Pavimentos para a INFRAERO*. Proposta Técnica. Empresa Brasileira de Infra-Estrutura Aeroportuária. Diretoria de Engenharia. Brasília, DF.
- MARCON, A. F. (1996) *Contribuições ao Desenvolvimento de um Sistema de Gerência de Pavimentos para a Malha Rodoviária Estadual de Santa Catarina*. Tese de Doutorado. Instituto Tecnológico da Aeronáutica. São José dos Campos, São Paulo.
- MEDINA, J. e MOTTA, L. M. G. (2005) *Mecânica dos Pavimentos*. 2ª edição. Rio de Janeiro, RJ.
- NSMA 3-1 (1999) *Conceituação de vocábulos, expressões e siglas de uso no SIPAER*. Norma de Sistema do Ministério da Aeronáutica. Ministério da Aeronáutica. Estado-Maior da Aeronáutica. Brasília, DF.
- NATIONAL ARCHIVES (2007) *US Navy Bases – Fortaleza*. Disponível em <<http://sixtant.net>>. Acessado em 11/04/2008.
- OLIVEIRA, F. H. L. (2008) *Considerações sobre a Prática dos Serviços de Remoção de Borracha em Pavimentos Aeroportuários*. In: 39ª. Reunião Anual de Pavimentação – 39ª. RAPv. 13º. Encontro Nacional de Conservação Rodoviária – 13º. ENACOR. Setembro de 2008. Recife, PE.

- OLIVEIRA, T. T. G. (1997) *Pinto Martins*. Livro. Fortaleza, CE.
- OLIVEIRA, A. e LAVÔR, I. (2007) *A História da Aviação no Ceará*. Expressão Gráfica e Editora Ltda. Fortaleza, CE.
- OLIVEIRA, F. H. L. e NOBRE JÚNIOR, E. F. (2008a) *Correção de Patologia em Pavimento Asfáltico Aeroportuário*. In: VII Simpósio de Transporte Aéreo – SITRAER. Novembro de 2008. Rio de Janeiro, RJ.
- OLIVEIRA, F. H. L. e NOBRE JÚNIOR, E. F. (2008b) *Proposição de Estratégias de Manutenção de Pavimentos Aeroportuários Baseadas na Macrot textura e no Atrito: Estudo de Caso do Aeroporto Internacional de Fortaleza*. In: VII Simpósio de Transporte Aéreo – SITRAER. Novembro de 2008. Rio de Janeiro, RJ.
- PADE, D. (2007) *Pavement Texture and Maintenance*. Disponível em <<http://www.airport-in.com>>. Acessado em 13/11/2007.
- PAPALEO, S. (1998) *Airport Pavement Maintenance Management System*. Airport Frank Magee Scholarship. Airport Planning Pty Ltd.
- PATERSON, W, D. O. e ROBINSON, R. (1992) *Criteria for Evaluating Pavement Management System*. Pavement Management Implementation. ASTM STP 1121. American Society for Testing and Materials. Philadelphia.
- PETERSON, D. E. (1987) *Pavement Management Practices*. Transportation Research Board 135. National Research Council. Washington, DC.
- PINARD, M. I. (1987) *Factors affecting the development and implementation of pavement management system in developing countries*. Second North American Conference on Pavement Management Proceedings. Toronto, Canada.
- PINTO, S. e PREUSSLER, E. (2002) *Pavimentação Rodoviária – Conceitos Fundamentais sobre Pavimentos Flexíveis*. Copiarte. Rio de Janeiro, RJ.
- RODRIGUES, R. M. (1999a) *Projeto de Pavimentos*. Notas de aula – Parte I. Instituto Tecnológico da Aeronáutica. Centro Aeroespacial. São José dos Campos, São Paulo.
- RODRIGUES, R. M. (1999b) *Gerência de Pavimentos*. Notas de aula – Parte II. Instituto Tecnológico da Aeronáutica. Centro Aeroespacial. São José dos Campos, São Paulo.
- RODRIGUES FILHO, O. S. (2006) *Características de Aderência de Revestimentos Asfálticos Aeroportuários – Estudo de Caso do Aeroporto Internacional de São Paulo/Congonhas*. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, SP.

- ROMAN, R. J., SNYDER, M. B., DARTER, M. I. e BROTON, M. R. (1985) *An Illinois Pavement Feedback System: Feasibility and System Requirements – Interim Report*. Illinois Department of Transportation. Bureau of Materials and Physical Research. Springfield.
- SENADO FEDERAL (2007a) *Decreto-Lei N.º. 3.462, de 25/07/1941*. Disponível em <<http://www.senado.gov.br/legislacao>>. Acessado em 18/04/2008.
- SENADO FEDERAL (2007b) *Lei N.º. 1.602, de 13/05/1952*. Disponível em <<http://www.senado.gov.br/legislacao>>. Acessado em 18/04/2008.
- SENADO FEDERAL (2007c) *Lei N.º. 1.909, de 21/07/1953*. Disponível em <<http://www.senado.gov.br/legislacao>>. Acessado em 18/04/2008.
- SENÇO, W. (2001) *Manual de Técnicas de Pavimentação*. Volume 2. Editora Pini. São Paulo, SP.
- SHAHIN, M. Y. (2005) *Pavement Management for Airports, Roads and Parking Lots*. 2<sup>nd</sup> Edition. Chapman & Hall, New York, USA.
- SILVA, P. F. A. (2005) *Manual de Patologia e Manutenção de Pavimentos*. Editora Pini. São Paulo, SP.
- SPEIDEL, D. J. (2002) *Airfield Rubber Removal*. The 2002 Federal Aviation Administration Technology Transfer Conference. EUA.
- SUCUPIRA, M. L. L. (2006). *Aplicação e Adaptação da Metodologia Paver para Pavimentos Urbanos do Campus do Pici na Cidade de Fortaleza*. Dissertação de Mestrado. Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, CE.
- SUCUPIRA, M. L. L. e NOBRE JÚNIOR, E. F. (2006) *Gerência de Vias Urbanas Baseada na Metodologia PAVER-USACE e Adaptações Desenvolvidas para Calçamentos em Pedra Poliédrica Aplicadas ao Campus da Universidade Federal do Ceará - UFC*. In: 37<sup>a</sup>. Reunião Anual de Pavimentação – 37<sup>a</sup>. RAPv. 11<sup>o</sup>. Encontro Nacional de Conservação Rodoviária – 11<sup>o</sup>. ENACOR. Agosto de 2006. Goiânia, GO.
- TRANSPORT CANADA (2007) *Pavement Design and Management Guide*. Government of Canada. Disponível em <<http://www.tc.gc.ca>>. Acesso em 15/01/2008.
- TRANSPORTS QUÉBEC (2003) *Système de Gestion des Chaussées*. Bulletin d'Information Technique. Volume 8, n.º. 5, mai 2003. Direction du Laboratoire des Chaussées. Ministère des Transports du Québec. Québec, Canada.
- UBIRATAN, E. (2008) *O Perigo da Aquaplanagem*. Disponível em <<http://www.aironline.com.br/tecnica/1711.htm>>. Acesso em 28/05/2008.

- USACE (1982) *Pavement Maintenance Management. Technical Manual – TM 5-623*. United State Army Corps of Engineers. Headquarters, Department of the Army. Washington, DC.
- USACE (1989) *Pavement Condition Surveys. Procedures for US Army and US Air Force Airfield – TM 5-826-6*. United State Army Corps of Engineers. Headquarters, Department of the Army. Washington, DC.
- WELLS, A. T. e YOUNG, S. B. (2004) *Airport Planning & Management*. 5<sup>th</sup> Edition. McGraw-Hill. New York, USA.
- YODER, E. J. e WITCZAK, M. W. (1975) *Principles of Pavement Design*. 2<sup>nd</sup> Edition. John Wiley & Sons, Inc. New York, USA.

**ANEXO 1**  
**(FORMULÁRIO DE AVALIAÇÃO PCI)**

## ANEXO 1 – FORMULÁRIO DE AVALIAÇÃO PCI

ÍNDICE DE CONDIÇÃO DO PAVIMENTO - PCI FORMULÁRIO DE AVALIAÇÃO - PAVIMENTO FLEXÍVEL (Adaptado de USACE (1989) e Sucupira (2006))							
AEROPORTO:					DATA:		
CIDADE/ESTADO:					SEÇÃO:		
FACILIDADE:					UNID. DE AMOSTRA:		
PESQUISADOR:					ÁREA DA AMOSTRA:		
TIPOS DE DEFEITOS					RASCUNHO		
1 - Trincas Couro de Jacaré		9 - Deterioração (presença de óleo/combustíveis)					
2 - Exudação		10 - Remendo					
3 - Trincas de bloco		11 - Polimento do agregado					
4 - Corrugação		12 - Desagregação/Desprendimento					
5 - Depressão/Afundamento		13 - Afundamento da Trilha de Roda					
6 - Erosão por queima ou combustão		14 - Empuxo revestimento (placas de concreto)					
7 - Trincas de reflexão (base de concreto)		15 - Escorregamento					
8 - Trincas transversais e longitudinais		16 - Inchamento					
TIPOS DE DEFEITOS EXISTENTES							
Quantidade e Severidade							
Severidade Total	A						
	M						
	B						
CÁLCULO DO PCI							
Tipos de Defeitos	Severidade	Densidade	Valor Deduzido	PCI		CONDIÇÃO DO PAVIMENTO	
				<b>PCI = 100 - VDC</b>		Excelente	(86 - 100)
						Muito Bom	(71 - 85)
						Bom	(56 - 70)
						Razoável	(41 - 55)
						Pobre	(26 - 40)
						Muito Pobre	(11 - 25)
						Péssimo	(0 - 10)
q =	Valor Deduzido Total (VDT)						
	Valor Deduzido Corrigido (VDC)						
OBSERVAÇÕES							



**ANEXO 2**  
**(TABELA DE ACN)**

## ANEXO 2 – TABELA DE ACN

Aeronave	Carga Total (kg)		Pressão dos Pneus (MPa)	ACN Pavimentos Rígidos - k em MN/m³								ACN Pavimentos Flexíveis - CBR							
	Peso Máximo Decolagem (PMD)	Operação Vazio (OV)		Alta 150		Média 80		Baixa 40		Ultra Baixa 20		Alta 15		Média 10		Baixa 06		Ultra Baixa 03	
				PMD	OV	PMD	OV	PMD	OV	PMD	OV	PMD	OV	PMD	OV	PMD	OV	PMD	OV
A300 B2 Airbus	137000	85910	1,2	35	18	42	21	50	25	58	29	39	20	43	22	53	24	68	34
A300 B2 Airbus	142000	85910	1,29	35	19	45	22	53	26	61	30	40	21	45	22	55	25	71	34
A300 B4 Airbus	150000	88180	1,39	41	20	49	22	57	26	65	31	43	21	49	22	59	25	76	35
A300 B4 Airbus	157000	88330	1,48	45	20	53	22	62	26	70	31	46	21	52	22	63	25	80	36
A300 B4 Airbus	165000	88505	1,29	46	17	55	20	64	25	73	29	49	20	56	21	68	25	84	36
A300-600 Airbus	165000	87100	1,29	46	17	55	19	64	24	73	28	49	19	56	21	68	24	84	35
A300-600R Airbus	170000	85033	1,35	49	17	58	19	68	23	78	28	52	19	58	20	71	23	89	34
A300-600R Airbus	171700	85033	1,35	50	17	59	19	69	23	79	28	52	19	59	20	72	23	90	34
A310-200 Airbus	132000	76616	1,23	33	15	39	18	46	21	54	24	36	18	40	19	48	20	64	27
A310-200 Airbus	138600	76747	1,3	35	16	42	18	51	21	58	25	39	18	43	19	52	20	68	28
A310-200 Airbus	142000	75961	1,33	37	15	44	17	52	20	60	23	40	17	44	18	54	20	70	27
A310-300 Airbus	150000	77037	1,42	42	13	49	14	58	17	66	20	44	15	49	15	59	16	76	24
A310-300 Airbus	157000	78900	1,49	45	14	54	15	63	18	71	22	47	15	53	15	64	16	81	25
A320-100 Airbus Dual	66000	37203	1,28	37	19	40	20	42	21	44	23	33	18	34	18	38	19	44	22
A320-100 Airbus Dual	68000	39700	1,34	39	20	41	22	43	23	45	24	35	19	36	19	40	20	46	23
A320-100 Airbus Dual Tandem	68000	40243	1,12	18	9	21	10	24	12	28	14	18	9	19	10	23	11	32	14
A320-200 Airbus Dual	73500	39748	1,45	44	20	46	22	48	23	50	25	38	19	40	19	44	20	50	24
A320-200 Airbus Dual Tandem	73500	40291	1,21	18	9	22	10	26	11	30	13	19	9	21	10	26	11	35	14
BAC 1-11 Series 400	39690	22498	0,93	25	13	26	13	28	14	29	15	22	11	24	12	27	13	29	15
BAC 1-11 Series 475	44679	23451	0,57	22	10	25	11	27	12	28	13	19	9	24	10	28	12	31	15
BAC 1-11 Series 500	47400	24757	1,08	32	15	34	16	35	16	36	17	29	13	30	13	33	15	35	17
Bae 146 Series 100	37308	23000	0,8	18	10	20	11	22	12	23	13	17	10	18	10	20	11	24	13
Bae 146 Series 100	37308	23000	0,52	16	9	18	10	19	11	21	12	13	8	16	9	19	11	23	13
Bae 146 Series 200	40600	23000	0,88	22	11	23	12	25	13	26	14	19	10	21	10	23	11	27	13
Bae 146 Series 200	40600	23000	0,61	19	10	21	11	23	12	24	12	16	8	20	10	22	11	27	13
B707-120B	117027	57833	1,17	28	12	33	12	39	15	46	17	31	13	34	14	41	15	54	20
B707-320B	148778	64764	1,24	38	13	46	14	54	17	62	20	42	15	47	15	57	17	72	22
B707-320C (Freighter)	152407	61463	1,24	40	13	48	14	57	16	66	19	44	14	49	15	60	17	76	21
B707-320C (Convertible)	152407	67269	1,24	40	14	48	15	57	18	66	21	44	16	49	17	60	19	76	24
B707-320/420	143335	64682	1,24	36	13	43	14	52	17	59	20	40	15	44	15	54	17	69	22
B720	104326	50258	1	25	10	30	11	37	13	42	16	29	11	31	12	39	14	51	18
B720 B	106594	52163	1	25	10	30	11	37	13	42	16	29	11	31	12	39	14	51	18
B727-100	77110	41322	1,14	46	22	48	23	51	25	53	26	41	20	43	20	49	22	54	26
B727-100C	73028	41322	1,09	43	22	45	23	48	25	50	26	39	20	40	21	46	22	51	26
B727-200 (Standard)	78471	44293	1,15	48	24	50	26	53	27	56	29	43	22	45	23	51	25	56	29
B727-200 (Advanced)	84005	44270	1,02	49	23	52	24	55	26	58	28	45	21	48	22	55	24	60	29
B727-200 (Advanced)	86636	44347	1,06	51	23	54	25	58	26	60	28	47	22	50	22	56	24	61	28
B727-200 (Advanced)	89675	44470	1,15	54	23	57	25	60	27	62	28	49	21	51	22	58	24	63	28
B727-200 (Advanced)	95254	45677	1,19	58	24	61	25	64	27	67	29	52	22	55	22	62	25	66	29

## ANEXO 2 – TABELA DE ACN (continuação)

Aeronave	Carga Total (kg)		Pressão dos Pneus (MPa)	ACN Pavimentos Rígidos - k em MN/m <sup>3</sup>								ACN Pavimentos Flexíveis - CBR							
	Peso Máximo Decolagem (PMD)	Operação Vazio (OV)		Alta 150		Média 80		Baixa 40		Ultra Baixa 20		Alta 15		Média 10		Baixa 06		Ultra Baixa 03	
				PMD	OV	PMD	OV	PMD	OV	PMD	OV	PMD	OV	PMD	OV	PMD	OV	PMD	OV
B737-100	44361	26581	0,95	23	12	24	13	26	14	27	15	20	12	22	12	24	13	28	15
B737-200	45722	27170	0,97	24	13	25	14	27	15	29	16	22	12	23	12	26	14	30	16
B737-200	52616	27125	1,14	29	13	31	14	32	15	34	16	26	12	27	12	30	13	34	15
B737-200	52616	27125	0,66	24	11	26	12	28	13	30	14	21	10	25	11	29	13	34	15
B737-200/200C (Advanced)	53297	29257	1,16	30	15	32	16	34	17	35	18	27	14	28	14	31	15	36	17
B737-200/200C (Advanced)	56699	28985	1,23	33	15	34	16	36	17	38	18	29	14	30	14	34	15	38	17
B737-200 (Advanced)	58332	29620	1,25	34	15	36	16	38	17	39	18	30	14	31	14	35	15	39	17
B737-300	61462	32904	1,34	37	18	39	18	41	20	42	21	32	16	33	16	37	17	41	20
B737-300	61462	32904	1,14	35	17	37	18	39	19	41	20	31	15	33	16	37	17	41	20
B737-400	64864	33643	1,44	41	19	43	20	45	21	47	22	35	16	37	17	41	18	45	21
B737-500	60781	31312	1,34	37	17	38	17	40	19	42	19	32	15	33	15	37	16	41	19
B747-100	323410	162385	1,5	41	17	48	19	57	22	65	25	44	19	48	20	58	22	77	28
B747-100B	334749	173036	1,56	43	18	50	20	59	24	68	28	46	20	50	21	60	24	80	30
B747-100B	341553	171870	1,32	41	17	49	19	58	22	68	26	46	20	51	21	62	23	82	30
B747-100B SR	260362	164543	1,04	27	16	32	17	40	21	47	25	33	19	36	20	43	23	59	30
B747SP	302093	147716	1,3	35	14	42	16	51	19	59	22	40	17	44	17	52	19	71	25
B747SP	318881	147996	1,4	37	14	44	15	52	18	60	21	41	16	45	17	54	18	72	23
B747-200B	352893	172886	1,37	45	18	53	20	64	24	73	28	50	21	55	22	67	24	88	31
B747-200C	373305	166749	1,3	46	16	55	18	66	21	76	25	52	19	57	20	70	22	92	29
B747-200F/300	379201	156642	1,39	47	16	57	17	68	20	78	24	53	18	59	19	73	21	94	26
B747-400	395987	178459	1,41	53	19	63	21	75	25	85	29	57	21	64	22	79	25	101	32
B757-200	109316	60260	1,17	27	12	32	14	38	17	44	19	29	14	32	14	39	17	52	22
B767-200	143789	78976	1,31	33	15	38	17	46	20	54	24	37	18	40	19	47	21	65	26
B767-200ER	159755	80853	1,21	37	16	44	18	54	21	63	25	43	19	47	19	57	22	77	28
B767-300	159665	86070	1,21	38	17	45	19	54	23	63	27	43	20	48	21	58	24	78	32
B767-300ER	172819	87926	1,31	43	18	51	20	61	24	71	28	48	21	53	22	65	24	86	32
B767-300ER	185520	88470	1,38	47	18	56	20	66	24	76	28	51	21	57	22	70	24	92	31
Caravelle Series10	52000	29034	0,75	15	7	17	8	20	9	22	10	15	7	17	7	19	9	23	11
Caravelle Series12	55960	31800	0,88	16	8	19	9	22	10	25	12	17	8	19	9	21	10	26	12
Concorde	185066	78698	1,26	61	21	71	22	82	25	91	29	65	21	72	22	81	26	98	32
Canadair CL44	95708	40370	1,12	25	9	30	10	35	11	40	13	27	9	30	10	36	11	47	14
Convair 880M	87770	40195	1,03	26	9	31	10	36	12	41	14	27	10	31	10	36	12	44	15
Convair 990	115666	54685	1,28	41	15	48	17	54	19	60	22	40	15	45	16	53	19	64	24
DC-3	11430	7767	0,31	6	4	7	5	7	5	7	5	4	3	6	4	8	5	9	6
DC-4	33113	22075	0,53	13	8	15	9	17	10	18	11	11	7	14	9	16	10	20	12
DC-8-43	144242	61919	1,22	41	15	49	16	57	18	65	21	43	15	49	16	59	18	74	23
DC-8-55	148778	62716	1,3	45	15	53	16	62	19	69	22	46	15	53	16	63	18	78	24
DC-8-61/71	148778	68992	1,3	46	17	54	19	63	22	71	25	48	18	54	19	64	21	80	28
DC-8-62/72	160121	65025	1,29	47	15	56	16	65	19	73	22	49	16	56	16	67	18	83	24
DC-8-63/73	162386	72002	1,34	50	17	60	19	69	23	78	26	52	18	59	19	71	22	87	29

## ANEXO 2 – TABELA DE ACN (continuação)

Aeronave	Carga Total (kg)		Pressão dos Pneus (MPa)	ACN Pavimentos Rígidos - k em MN/m <sup>3</sup>								ACN Pavimentos Flexíveis - CBR							
	Peso Máximo Decolagem (PMD)	Operação Vazio (OV)		Alta 150		Média 80		Baixa 40		Ultra Baixa 20		Alta 15		Média 10		Baixa 06		Ultra Baixa 03	
				PMD	OV	PMD	OV	PMD	OV	PMD	OV	PMD	OV	PMD	OV	PMD	OV	PMD	OV
DC-9-15	41504	22300	0,9	23	11	25	12	26	13	28	14	21	10	22	11	26	12	28	14
DC-9-21	45813	23879	0,98	27	12	29	13	30	14	32	15	24	11	26	12	29	13	32	15
DC-9-32	49442	25789	1,07	29	14	31	15	33	15	34	16	26	12	28	13	31	14	34	16
DC-9-41	52163	27821	1,1	32	15	34	16	35	17	37	18	28	13	30	14	33	15	37	18
DC-9-51	55338	29336	1,17	35	17	37	17	39	18	40	19	31	15	32	15	36	16	39	19
MD-81	63957	35571	1,17	41	20	43	21	45	23	46	24	36	18	38	19	43	21	46	24
MD-82/88	68266	35629	1,27	45	21	7	22	49	24	50	25	39	18	42	19	46	20	50	24
MD-83	73023	36230	1,34	49	21	51	22	53	24	55	25	42	18	46	19	50	21	54	24
MD-87	68266	33965	1,27	45	19	47	21	49	22	50	23	39	17	42	18	46	19	50	22
DC-10-10	196406	108940	1,28	45	23	52	25	63	28	73	33	52	26	57	27	68	30	93	38
DC-10-10	200942	105279	1,31	46	22	54	24	64	27	75	31	54	24	58	25	69	28	96	36
DC-10-15	207746	105279	1,34	48	22	56	24	67	27	74	31	55	24	61	25	72	28	100	36
DC-10-30/40	253105	120742	1,17	44	20	53	21	64	24	75	28	53	22	59	23	70	25	97	32
DC-10-30/40	260816	124058	1,21	46	20	55	21	67	25	78	29	56	23	61	23	74	26	101	33
DC-10-30/40	268981	124058	1,24	49	20	59	21	71	25	83	29	59	23	64	23	78	26	106	33
MD-11	274650	127000	1,41	56	23	66	25	79	28	92	32	64	25	70	26	85	29	114	37
DCH 7 DASH 7	19867	11793	0,74	11	6	12	6	13	7	13	7	10	5	11	6	12	6	14	8
Fokker 27 Mk500	19777	11879	0,54	10	5	11	6	12	6	12	7	8	4	10	5	12	6	13	7
Fokker 50 HTP	20820	12649	0,59/0,55	10	6	11	6	12	7	13	7	8	5	10	5	12	6	14	8
Fokker 50 LTP	20820	12649	0,41	9	5	10	5	11	6	12	7	6	4	9	5	11	6	14	8
Fokker 28 Mk1000LTP	29484	15650	0,58	14	6	15	7	17	8	18	9	11	5	14	6	16	7	19	9
Fokker 28 Mk1000HTP	29484	16550	0,69	15	8	16	8	18	9	18	10	13	6	15	7	17	8	20	10
Fokker 100	44680	24375	0,98	28	13	29	14	31	15	32	16	25	12	27	13	30	14	32	16
HS125-400A - 400B	10600	5683	0,77	6	3	6	3	7	6	7	3	5	2	5	3	6	3	7	3
HS125-600A - 600B	11340	5683	0,83	7	3	7	3	7	3	8	3	5	2	6	3	7	3	8	3
HS748	21092	12183	0,59	10	5	11	5	11	6	12	6	8	4	9	5	11	6	13	7
IL62	162600	66400	1,08	42	14	50	15	60	18	69	20	47	16	54	17	64	18	79	24
IL62M	168000	71400	1,08	43	16	52	17	62	19	71	22	50	17	57	18	67	20	83	26
IL-76T	171000	83800	0,64	38	11	38	14	38	16	39	16	37	15	40	16	45	18	53	22
IL-86	209500	111000	0,88	25	13	31	14	38	16	46	19	34	16	36	17	43	19	61	23
L-100-20	70670	34205	0,72	30	14	33	15	36	16	38	17	27	12	31	14	33	15	38	16
L-100-30	70670	34701	0,72	30	14	33	15	36	16	38	17	27	12	31	14	33	15	39	17
L-1011-1	195952	108862	1,33	45	24	52	25	62	28	73	33	52	25	56	27	66	29	91	38
L-1011-100/200	212281	110986	1,21	46	23	55	24	66	28	78	32	56	25	61	26	73	30	100	38
L-1011-500	225889	108924	1,27	50	23	59	24	72	27	84	31	60	25	65	26	79	18	107	36
Trident 1E	61160	33203	1,03	32	15	34	16	37	17	39	18	23	10	24	11	27	12	32	15
Trident 2E	65998	33980	1,07	37	16	39	17	42	18	44	19	26	11	28	12	31	13	36	16
Trident 3	68266	39060	1,14	37	18	40	19	42	21	44	22	26	13	28	14	31	15	36	18
TU-134A	47600	29350	0,83	11	7	13	8	16	9	19	10	12	7	13	8	16	9	21	12
TU-154B	98000	53500	0,93	19	8	25	10	32	13	38	17	20	10	24	11	30	13	38	18
VC10-1150	151953	71940	1,01	38	16	46	17	56	20	65	23	44	17	50	18	61	21	77	27

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)