INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO
Universidade Técnica de Lisboa

Sistemas de Gestão de Pavimentos Aeroportuários

Caracterização e Aplicabilidade

Cristina Isabel Cachado dos Santos Henriques Fernandes

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em

Engenharia Civil

Júri

Presidente: Prof. Doutor José Álvaro Pereira Antunes Ferreira

Orientador: Prof. Doutor José Manuel Coelho das Neves

Vogal: Prof. Doutor Luís Guilherme de Picado Santos

Outubro de 2010

Agradecimentos

Durante o período de realização deste trabalho requisitei por diversas vezes o apoio, acompanhamento e ajuda de várias pessoas às quais devo e quero expressar os meus sinceros agradecimentos, em particular:

Ao Professor Doutor José Neves, Professor do Instituto Superior Técnico, orientador científico, pela excelente orientação e interesse demonstrados ao longo da realização desta dissertação, pelas valiosas sugestões, pelo incentivo e alento, pela leitura crítica do original e pela amizade e disponibilidade sempre demonstradas.

À Direcção da ANA pela resposta célere em todo o processo e ao Arqt.º João Leal pelos meios postos à disposição.

À Arqt.ª Marisa Guerreiro, Eng.ª Susana Brito e Eng.ª Maria João Paixão, colaboradoras da ANA na Direcção de Infraestruturas Aeronáuticas, pela disponibilidade demonstrada, pelos conhecimentos técnicos e informação que me disponibilizaram.

À Eng.ª Rita Fonseca e Eng.º Vitorino Gonçalves colaboradores da ANA no Departamento de Manutenção do Aeroporto de Lisboa, pela disponibilidade permanente, empenho e preciosa ajuda na reunião e disponibilização de elementos essenciais para a elaboração do caso de estudo prático.

Aos colegas e amigos pelo incentivo, apoio e amizade demonstrados durante a elaboração deste trabalho particular.

À minha família pelo apoio em todos os momentos, em especial ao Miguel, meu marido e melhor amigo por proporcionar todas as condições necessárias à realização deste trabalho, pelo incentivo, apoio, paciência, compreensão e amor demonstrados em todos os momentos.

Resumo

Os pavimentos aeronáuticos assumem um papel de destaque no complexo aeroportuário pela importância que têm na operacionalidade e segurança das aeronaves. A sua condição e conservação constituem uma das grandes preocupações das administrações que têm a cargo a sua gestão.

Nas últimas décadas e tendo por base a experiência rodoviária, foram sendo adoptados sistemas de gestão de pavimentos como forma de organizar, sistematizar e racionalizar as actividades de conservação dos pavimentos aeronáuticos. Tendo em consideração que em Portugal a sua implementação é uma realidade recente e que os progressos feitos no desenvolvimento de sistemas de informação em termos de hardware e software; nomeadamente nos sistemas de informação geográfica; julga-se oportuno abordar a importância do uso destas ferramentas como apoio à decisão na gestão dos pavimentos e redes conexas.

Neste trabalho descreveram-se a constituição e características mais comuns dos pavimentos, sistemas de drenagem e sinalização, assim como, a evolução da degradação destes elementos ao longo da sua vida útil. Foi dada especial atenção à observação dos pavimentos aeronáuticos e aos ensaios associados à sua caracterização, pela importância que têm nas operações de manutenção e gestão.

Foram introduzidos os conceitos Sistema de Gestão de Pavimentos Aeroportuários e Sistema de Informação Geográfica, com foco na importância da sua utilização para a maximização dos benefícios face aos custos tidos com operações de conservação e reabilitação.

Com o objectivo de aliar a teoria à prática, foi apresentado um caso de estudo onde o Aeroporto Internacional de Lisboa serviu de referência na integração das práticas usuais de caracterização e conservação dos pavimentos com sistemas actuais de gestão.

Esta abordagem à realidade permitiu entender, não só, as reais necessidades de um aeroporto com as características de Lisboa, como, reflectir sobre os aspectos determinantes para o sucesso de implementação e operação de sistemas de gestão de pavimentos aeronáuticos.

Palavras-Chave

Infraestruturas Aeroportuárias

Pavimentos Aeronáuticos

Auscultação de Pavimentos

Sistemas de Gestão

Sistemas de Informação Geográfica

Gestão da Conservação

Abstract

Airfield pavements assume a prominent role in the airport system by its importance in aircraft operations and safety. Its condition and maintenance are the major concerns of administrations that are responsible for its management.

In recent decades, based on road experience, pavement management systems were being adopted as a way to organize, systematize and streamline the airfield pavement maintenance activities. Considering that its implementation in Portugal is a recent reality and the progress made in the development information systems in terms of hardware and software; particularly in geographic information systems; it is deemed appropriate to address the importance of using these tools as decision support in pavement and related networks management.

The constitution and the most common pavements, drainage systems and signage characteristics are described, as well as the evolution of the degradations of those elements throughout its life-cycle. Particular attention is given to airfield pavement monitoring related to their functional and structural conditions, because the importance they have on maintenance and management.

The concepts of an Airport Pavement Management System and Geographic Information System are introduced, focusing on the importance of its use for maximizing the benefits against the costs related to maintenance and rehabilitation operations.

With the purpose of combining theory with practice, is presented a case study relative to Lisbon International Airport as a reference in the integration of usual pavement characterization/maintenance practices with existing management systems.

This approach to reality allows us to understand, not only, the actual needs of an airport with Lisbon characteristics, as to, reflect on the key aspects for successful airport management system implementation and operation.

Key-words

Airfield Infrastructures

Airfield Pavements

Pavement Monitoring

Airport Pavement Management System

Geographical Information System

Maintenance Management

ÍNDICE

1. Introdução ... 1
1.1 Enquadramento ... 1
1.2 Objectivos ... 2
1.3 Metodologia ... 2
1.4 Estrutura do Conteúdo ... 3
2. A Infraestrutura Aeroportuária ... 5
2.1 Apresentação e Descrição dos Principais Componentes ... 5
2.2 Normas e Recomendações ... 7
2.3 Pavimentos Aeronáuticos ... 7
2.3.1 Introdução ... 7
2.3.2 Classificação dos Pavimentos Aeronáuticos ... 10
2.3.3 Degradações dos Pavimentos Aeronáuticos ... 15
2.3.4 Catálogo de Degradações ... 16
2.4 Drenagem dos Pavimentos Aeronáuticos ... 17
2.4.1 Tipos de Drenagem ... 17
2.4.2 Evolução do Estado dos Sistemas de Drenagem e sua Conservação ... 22
2.5 Sinalização Aeronáutica ... 22
2.5.1 Sinalização Diurna ... 23
2.5.2 Sinalização Vertical ... 31
2.5.3 Sinalização Luminosa ... 33
2.5.4 Evolução do Estado de Conservação da Sinalização e Manutenção ... 36
3. Observação de Pavimentos ... 38
3.1 Introdução ... 38
3.2 Indicadores de Desempenho e Parâmetros de Estado ... 39
3.2.1 Degradações Observáveis à Superfície ... 39
3.2.2 Textura Superficial ... 40
3.2.3 Regularidade Longitudinal e Transversal ... 43
3.2.4 Atrito ... 44
3.2.5 Capacidade Estrutural ... 49
3.3 Técnicas e Equipamentos de Medição dos Parâmetros de Estado ... 51
3.3.1 Inspecção Visual Directa ... 51
3.3.2 Observação Visual através de Equipamentos de Vídeo ... 52
3.3.3 Ensaio da Mancha de Areia ... 54
3.3.4 Perfilómetro Laser ... 55
3.3.5 Veículos Multifunções ... 58
3.3.6 Grip Tester ... 59
3.3.7 Deflectómetro de Impacto Super Pesado – SHFWD ... 60
3.3.8 Ensaios de Prospecção ... 63

4. Desenvolvimento e Aplicação de Sistemas de Gestão 66
4.1 Sistemas de Gestão 66
4.1.1 Características Fundamentais 66
4.2 Uma Aplicação à Infraestrutura Aeroportuária, Sistema de Gestão de Pavimentos Aeroportuários 67
4.2.1 Objectivos e Benefícios de um SGPA 67
4.2.2 Custos Associados a um SGPA 69
4.2.3 Estrutura de um SGPA 69
4.2.4 Níveis de Gestão da Rede de Pavimentos Aeronáuticos 71
4.2.5 Inventário e Levantamento das Condições dos Pavimentos 71
4.2.6 Definição e Mapeamento da Rede de Pavimentos 72
4.2.7 Base de Dados dos Pavimentos Aeronáuticos 73
4.2.8 Avaliação da Qualidade dos Pavimentos 75
4.2.9 Ferramentas de Apoio à Decisão 77
4.2.10 Desenvolvimento do Programa de Conservação dos Pavimentos 84
4.3 Sistemas de Informação Geográfica – SIG Integrados com SGPA 87
4.3.1 Introdução 87
4.3.2 A Origem dos Sistemas de Informação Geográfica 87
4.3.3 Definição dos Sistemas de Informação Geográfica 88
4.3.4 A Importância da Informação Georreferenciada e dos SIG na Gestão dos Pavimentos Aeronáuticos 90
5. Caso de Estudo 92
5.1 Introdução 92
5.2 Apresentação do Aeroporto Internacional de Lisboa 92
5.2.1 Descrição Geral 92
5.2.2 Tipo de Tráfego Aéreo 93
5.2.3 Pavimentos 96
5.2.4 Outras Características 98
5.3 Recolha de Informação 100
5.3.1 Características dos Pavimentos 100
5.3.2 Sistemas de Informação Geográfica – SIG 104
5.4 Sistema de Gestão de Pavimentos – SGPA 107
5.4.1 Introdução 107
5.4.2 Operação do SGPA – A Experiência do Aeroporto de Lisboa 108
6. Conclusões 112
6.1 Síntese do Trabalho 112
6.2 Conclusões Gerais 113
6.3 Desenvolvimentos Futuros ao SGPA 116
6.4 Proposta de Trabalhos Futuros 117
7. Bibliografia 118

ANEXOS 125
ANEXO I - Sinalização Aeronáutica (Áreas de Movimento) 125

ANEXO II - Ensaios de Laboratório……..……134
ANEXO III - Dados do Aeroporto de Lisboa……...135
ANEXO IV - Degradações dos Pavimentos Aeronáuticos……...162
ANEXO V - Índice de Irregularidade Internacional, IRI…….....171
ANEXO VI - Curviâmetro……...172

Índice de Figuras

Figura 2.1 – Aeroporto de Faro, Portugal: exemplo das várias áreas de operação. 6
Figura 2.2 – Distribuição das cargas pelo trem de aterragem. 8
Figura 2.3 – Constituição típica de um pavimento rígido. 11
Figura 2.4 – Tipos de pavimentos rígidos. 12
Figura 2.5 – Constituição típica de um pavimento flexível. 13
Figura 2.6 – Evolução das solicitações num pavimento rodoviário, aeroportuário [adaptado de (Pereira, et al., 1999[a])]. 15
Figura 2.7 – Sumidouro: construção, à esquerda e aspecto final, à direita. 20
Figura 2.8 – Dreno: secção transversal [adaptado de (Horonjeff, et al., 1994)]. 21
Figura 2.9 – Secção transversal do sistema de drenagem tipo de uma pista [adaptado de (Horonjeff et al., 1994)]. 21
Figura 2.10 – Marcas horizontais de pista de aproximação por instrumentos de precisão [Adaptado da (FAA, 2008)]. 24
Figura 2.11 – Soleira deslocada temporariamente (à esquerda); soleira deslocada temporária ou permanente (à direita), [Adaptado de (ICAO, 2004)]. 26
Figura 2.12 – Marcação de bermas de corredores de circulação (FAA, 2008). 28
Figura 2.13 – Sinais horizontais de localização em corredores de circulação (à esquerda) e sinal de posicionamento geográfico (à direita). 29
Figura 2.14 – Marcas e sinais de espera: Corredores de circulação, à esquerda e pistas destinadas a operações de *taxi* e aterragens de curta duração, à direita, (Fonte: FAA). 30
Figura 2.15 – Marcas de espera em intersecções de corredores de circulação: à esquerda Fonte: ICAO e à direita Fonte: FAA. 30
Figura 2.16 – Marcas de espera (ICAO, 2004). 31
Figura 2.17 – Sinal de distância remanescente de pista indicando que faltam 3 mil pés (915 m) para o fim da pista. 33
Figura 3.2 – Diferença entre micro e macrotextura (Merighi et al., 2006). 41
Figura 3.3 – Modelo “quarto de veículo” (adaptado de COST 354, 2007). 44
Figura 3.4 – Determinação do IFI (AIPCR/PIARC, 2003). 47
Figura 3.5 – Equipamento VIZIROAD. 51
Figura 3.6 – Veículo ligeiro com sistema de vídeo instalado para captação de imagens do pavimento. 53
Figura 3.7 – Ensaio da mancha de areia (Branco et al., 2006). 55
Figura 3.8 – Esquema tipo de um perfilómetro laser (LNEC, 2008[a]). 56
Figura 3.9 – Profundidade de rodeira (COST, 2007). 57
Figura 3.12 – Veículo multifunção hawkeye 2000 da *Australian Road Research Board* (ARRB, 2010). 59

Figura 3.13 – Grip Tester (LNEC, 2008[b]) à esquerda, mecanismo do Grip Tester (GripTester., 2006) à direita.....59
Figura 3.14 – Princípio de ensaio do Deflectómetro de Impacto (LNEC, 2008[c]). 61
Figura 3.15 – Deflectómetro de Impacto [à esquerda (Grontmij | Carl Bro)], [à direita (COST, 2002)]. 61
Figura 3.16 – Exemplo de um output do Deflectómetro de Impacto "PRIMAX" da Grontmij | Carl Bro. 63
Figura 3.17 – Cálculo do PCN através do software do SHFWD da Grontmij | Carl Bro.....63
Figura 3.18 – Sondagem à rotação, à esquerda, (imagem cedida pelo Prof. José Neves) e abertura de poço à direita, (Fontul, et al., 2007). 64
Figura 3.19 – Radar de Prospecção do LNEC (Alves, 2007).....64
Figura 3.20 – Princípio de funcionamento do Radar de Prospecção num ensaio em pavimento flexível, [adaptado de (LNEC, 2008[d])]. 65
Figura 4.1 – Degradação da condição de um pavimento (Shahin, 2005).....69
Figura 4.2 – Estrutura geral de um Sistema de Gestão de Pavimentos Aeroportuários. 70
Figura 4.3 – Entradas e saídas do módulo de "Análise do Custo Total" do ciclo de vida de um pavimento. 81
Figura 4.4 – Efeito da aceleração, provocada pela rugosidade da pista, na fadiga da aeronave, [adaptado de (Gervais, September 1991)]. 83
Figura 4.5 – Relação entre o SIG e outros sistemas, [Adaptado de (Maguire, 1991)]. 88
Figura 5.1 – Mapa do Aeroporto de Lisboa (ALS). 93
Figura 5.2 – Distribuição média do tráfego por tipologia [com base em dados (ANA, 2010)]. 94
Figura 5.3 – Número de movimentos por tipologia [com base em dados (ANA, 2010)].....94
Figura 5.4 – Distribuição percentual média de movimentos por tipo de aeronave em 2009 e 2008. ...95
Figura 5.5 – Resumo de movimentos por pista do tráfego comercial. 96
Figura 5.6 – Mapa da distribuição dos pavimentos operacionais por classe (*Airpave*).....97
Figura 5.7 – Pormenor de sumidouro com rasgo superior (à esquerda) e grelha (à direita) pertencentes ao sistema de drenagem superficial do ALS. 99
Figura 5.8 – Pavimento ranhurado da pista 03. 99
Figura 5.9 – Colocação em obra de drenagem profunda em pavimentos do "Lado Ar" do ALS. Tapete drenante à esquerda e dreno subterrâneo à direita. 99
Figura 5.10 – Parâmetros de estado para a caracterização estrutural e funcional dos pavimentos aeronáuticos. 102
Figura 5.11 – Projecto conceptual de uma base de dados SIG para o ALS.....106
Figura 5.12 – SIG Aeroporto de Faro: redes de drenagem e saneamento à esquerda e redes eléctricas e sinalização luminosa à direita (Imagens cedidas pela Direcção de Infraestruturas Aeroportuárias da ANA). 107
Figura 5.13 – SIG Aeroporto de Faro: Pavimentos e áreas operacionais à esquerda, sinalização diurna à direita (Imagens cedidas pela Direcção de Infraestruturas Aeroportuárias da ANA). 107
Figura 5. 14 – Janela "Campanha de Inspecção" para introdução e consulta de dados. 109

Figura 5.15 – Exemplo de *Print screens* do módulo "*Pavement Info*" com Informação de projecto (Dados cedidos pelo Departamento de Manutenção do Aeroporto de Lisboa). 110
Figura 5.16 – Menu "Estratégias de M&R".....111
Figura 5.17 – Curvas de comportamento do pavimento calculadas pelo *Airpave*, expressas em função dos parâmetros F, W e S. 111
Figura I.1 – Marcação de bermas de pista, (Fonte: FAA).....125
Figura I.2 – Eixo central conspícuo do corredor de circulação: A. Fonte: ICAO; B. Fonte: FAA. 126
Figura I.3 – Marcas de espera (Fonte: ICAO).....127
Figura I.4 – Marcas de espera intermédias (Fonte: FAA).....128
Figura I.5 – Marcas de espera (Fonte: FAA).....128
Figura I.6 – Sinal horizontal de espera (Fonte: FAA). 128
Figura I.7 – Sinal de verificação de receptor VOR, "VOR *checkpoint* " (Fonte: ICAO). 129
Figura I.8 – Marcas horizontais no pavimento: área interdita ao movimento (à esquerda) e Pista/corredor encerrado (à direita).....130
Figura I.9 – Sinalização de heliportos (Fonte: FAA).....130
Figura I.10 – Sinais de instrução obrigatória (à esquerda) e sinais informativos (à direita). (Fonte: ICAO). 131
Figura I.11 – Exemplo de apresentação de sinais informativos, FAA. 131
Figura I.12 – Sistema de iluminação de corredores de circulação (Fonte: ICAO). 132
Figura III.1 – Desenho ilustrativo das marcas de posição de espera utilizadas no ALS. 142
Figura III.2 – Ficha de abertura de um poço na plataforma D do Aeroporto de Lisboa a 28 de Setembro de 2006. 143
Figura III.3 – Medição do coeficiente de atrito na Pista 03-21 com o equipamento Grip Tester – Novembro de 2006 (Fonte: Departamento de Manutenção do ALS). 144
Figura III.4 – Representação em planta da medição do coeficiente de atrito na Pista 03-21 com equipamento *Grip Tester* – Novembro de 2006 (Fonte: departamento de Manutenção do ALS). 145
Figura III.5 – *Airport Surface Friction Tester* – ASFT (Fonte: www.asft.se).....146
Figura III.6 – Rotina da medição do atrito de uma pista com o ASFT/SFT/RFT (Fonte: www.tc.gc.ca). 147
Figura III.7 – Mapa Base do SGPA *AIRPAVE* 148
Figura III.8 – Folha de Inspecção Visual para Pavimento Flexível.....149
Figura III.9 – Mapa de condição do pavimento para o parâmetro F, Functional.....150
Figura III.10 – Mapa de condição do pavimento para o parâmetro W, Wearing.....150
Figura III.11 – Mapa de condição do pavimento para o parâmetro S, *Structural.*.....151
Figura III.12 – Ensaio com Deflectómetro de Impacto na Plataforma 14 do ALS. 154
Figura III.13 – Ensaio com o equipamento *Grip Tester* no ALS à esquerda e, imagem do ASFT idêntico ao usado no ALS, à direita. 159
Figura IV.I – Encurvamento das lajes. 161

Figura IV.2 – Fendas associadas à RAS orientadas no sentido longitudinal da estrutura, à esquerda e provetes extraídos da estrutura ao lado com profundidade de fendas apresentadas entre 3 a 6 cm, à direita (Rogertec). 163
Figura IV.3 – Lasqueamento da junta pouco severo (Pavement). 163
Figura IV.4 – Depósito de borracha num pavimento aeroportuário.....165
Figura IV.5 – Fendilhamento em bloco (Pavement). 166
Figura VI.1 – Curviâmetro (à esquerda) e corrente do Curviâmetro (à direita), (EUROCONSULT., 2004, 24 November). 171
Figura VI.2 – Mecanismo de medida e bacia de deflexão registada. 171
Figura VI.3 – Bacia de Deflexão Tipo. 172
Figura VI.4 – Software de tratamento de resultados individuais a cada 5 metros e análise estatística, (imagem de EUROCONSULT). 173

Índice de Quadros

Quadro 2.1 – Elementos de sinalização de pista [adaptado de (FAA, 2008)]. 24
Quadro 2.2 – Número de listas de sinalização de soleira de pista (ICAO, 2004). 25
Quadro 2.3 – Sinalização da zona de toque: Par(es) de marcas em função da distância de aterragem disponível. 27
Quadro 3.1 – Quadro geral de indicadores e parâmetros de estado. 39
Quadro 3.2 – Classificação da macrotextura quando obtida através do método da mancha de areia (ICAO, 2002).....42
Quadro 3.3 – Níveis de atrito condicionantes para a superfície de pistas aeronáuticas (ICAO, 2004).48
Quadro 3.4 – Frequência de avaliação do atrito (AC:150/5320-12C, 1997).....49
Quadro 4.1 – Classificação dos modelos de comportamento (Branco et al., 2006). 77
Quadro 5.1 – Distribuição das áreas operacionais de acordo com a classe de pavimento. 97

Lista de Abreviaturas e Acrónimos

ACN – Aircraft Classification Number, Número de Classificação de Aeronave

AIP – Aeronautical Information Publication, Publicação de Informação Aeronáutica

ALS – Aeroporto de Lisboa

ANA – Aeroportos e Navegação Aérea

ANAM – Aeroportos de Navegação Aérea Madeira

ASTM – American Society for Testing and Materials

CAL – Coeficiente de Atrito Longitudinal

CAT – Coeficiente de Atrito Transversal

CRI – Condition Rating Index, Índice de Classificação do Pavimento

DGPS – Differential Global Positioning System, Sistema de Posicionamento Global Diferencial

ETD – Estimated Texture Depth, Estimativa de Profundidade de Textura

FAA – Federal Aviation Administration

FOD – Foreign Object Damage, Danos por Objectos Exteriores

FWD – Falling Weight Deflectometer, Deflectómetro de Impacto

GN – Grip Number

GPR – Ground Penetration Radar, Radar de Prospecção

GPS – Global Position System, Sistema de Posicionamento Global

HFWD – Heavy Falling Weight Deflectometer, Deflectómetro de Impacto Pesado

ICAO – International Civil Aviation Organization

IFI – International Friction Index, Índice de Atrito Internacional

INAC – Instituto Nacional da Aviação Civil

IRI – International Roughness Index, Índice de Irregularidade Internacional

LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil

LTPP – Long-Term Pavement Performance

LVO – Low Visibility Operations

M&R – Manutenção e Reabilitação

MPD – Mean Profile Depth, Profundidade Média de Perfil

MTD – Mean Texture Depth, Profundidade Média de textura

PCI – Pavement Condition Index, Índice de Condição do Pavimento

PCN – Pavement Classification Number, Número de Classificação do Pavimento

PIARC/AIPCR – Permanent International Association of Road Congresses / Associação Internacional Permanente de Congressos Rodoviários

RESA – Runway End Safety Area

RSA – Reactividade Álcali - Sílica

RVR – Runway Visible Range

SHFWD – Super Heavy Falling Weight Deflectometer, Deflectómetro de Impacto Super pesado

SGP – Sistema de Gestão de Pavimentos

SGPA – Sistema de Gestão de Pavimentos Aeroportuários

SHRP – Strategic Highway Research Program

SIG – Sistema de Informação Geográfica

SMTD – Sensor Measure Texture Depth, Sensor de Medição de Profundidade de Textura

OCDE – Organization for Economic Co-operation and Development

VR – Visual Range

1. Introdução

1.1 Enquadramento

A crescente globalização da economia tem levado a uma crescente exigência de mobilidade por parte das sociedades e a uma procura, cada vez mais significativa, dos serviços integrados de logística e transporte. Sob este ponto de vista o transporte aéreo tem assumido uma importância vital para o desenvolvimento económico e social do território, tal como as infraestruturas aeroportuárias que consequentemente desempenham um papel relevante na vida de milhões de pessoas que procuram o transporte aéreo como meio de deslocação.

O desempenho e a eficiência do transporte aéreo dependem, entre inúmeras coisas, do correcto funcionamento do complexo aeroportuário que, por sua vez, depende necessariamente da adequada condição de operacionalidade das infraestruturas relacionadas com a movimentação das aeronaves em solo, ou seja, dos pavimentos das pistas, caminhos de circulação e plataformas de estacionamento, mas sobretudo das pistas que podem tornar impraticáveis, ou difíceis, as operações das aeronaves e dos seus equipamentos de apoio num aeroporto.

A degradação gradual destas infraestruturas é um dos factores que pode contribuir para ocorrências de incidentes e acidentes envolvendo aeronaves. Diante deste problema, as práticas de manutenção e reabilitação dos pavimentos aeronáuticos devem ser tratadas com prioridade e responsabilidade pelos seus administradores, atendendo a que esta não é uma tarefa fácil e os recursos financeiros envolvidos, na maioria dos casos são altos e/ou insuficientes.

As práticas de manutenção apontam então para a necessidade indispensável de estarem inseridas num sistema de gestão de pavimentos aeroportuários, funcionando como uma ferramenta primordial na gestão da infraestrutura e no processo de tomada de decisão.

A necessidade de implementação de um método racional de gestão; quer na perspectiva global de monitorização da rede – características físicas, desempenho, nível de segurança e qualidade de serviço que proporcionam – quer na definição das necessidades associadas à elaboração de projectos e à realização de obras que daí decorrem; é um assunto de indiscutível actualidade e importância. Por este motivo, e à semelhança do sistema rodoviário, os sistemas de gestão de pavimentos aeronáuticos têm vindo a ser desenvolvidos e implementados como ferramentas fundamentais de gestão e manutenção dos pavimentos, com o objectivo de reduzir custos, aumentar o tempo de exploração e melhorar a qualidade de operação das infraestruturas geridas.

Os avanços no desenvolvimento de hardware e software aplicados à recolha e tratamento de dados têm contribuído para este desenvolvimento e para que cada vez mais administrações usufruam de

sistemas “inteligentes” que não dependam apenas do conhecimento e experiência de especialistas mas que sejam transversais a diversos utilizadores relevantes no processo de decisão.

1.2 Objectivos

O objectivo principal deste trabalho é o de reunir e sistematizar um conjunto de informação sobre o “estado da arte” no que respeita à gestão de pavimentos aeronáuticos e metodologias aplicadas, mostrando claramente a importância da utilização de sistemas de gestão na conservação de infraestruturas complexas como é o caso dos pavimentos aeronáuticos.

Os pavimentos são abordados como elemento central da gestão das áreas de movimento do complexo aeroportuário, embora também seja dada especial atenção aos sistemas de sinalização e de drenagem pela sua importância nas condições operacionais dos primeiros.

Ao longo deste trabalho procura-se descrever a importância dos sistemas de gestão de pavimentos aeroportuários, salientando os seus objectivos, enumerando as suas principais características e os moldes nos quais têm vindo e devem ser desenvolvidos.

São descritas as metodologias inerentes à implementação e funcionamento do sistema de gestão, desde o levantamento e recolha de dados até ao objectivo primordial de produção da estratégia e plano de conservação óptimos, baseados na disponibilidade de recursos humanos, logísticos e financeiros.

É focada a importância e mais-valia da utilização dos sistemas de informação geográfica na gestão, manutenção e reabilitação das infraestruturas aeronáuticas, atendendo a que a sua integração com SGPA permite coordenar de uma forma mais eficiente as operações e os recursos disponíveis.

Por último; considerando o exemplo do Aeroporto de Lisboa e a sua experiência na manutenção dos pavimentos aeronáuticos, bem como as normas e orientações internacionais; apresentam-se os principais critérios a ter em conta no planeamento de acções de M&R com foco no contributo dado pelo sistema de gestão de pavimentos existente e nas vantagens da sua integração com sistemas de informação geográfica.

1.3 Metodologia

A escolha do tema da presente dissertação foi motivada pela constatação da crescente utilização de sistemas de gestão de pavimentos rodoviários, quer a nível nacional quer internacional e, mais recentemente, aeronáuticos. O conhecimento da existência de um sistema de gestão de pavimentos

aeroportuários no Aeroporto de Lisboa e o recente lançamento do concurso público para implementação e operação de um SGPA para todos os aeroportos ANA e ANAM revelou ser este um tema de indiscutível importância para as administrações aeroportuárias.

Numa primeira fase foi recolhida informação sobre o "Estado da Arte", procurando compilar informação sobre o aparecimento e desenvolvimento de sistemas de gestão de pavimentos no domínio aeroportuário, bem como a sua actual aplicabilidade. Reuniu-se a informação necessária à sua compreensão e caracterização através de diversos estudos e experiência, de empresas de referência no mercado internacional, com demonstração da importância destas ferramentas para as entidades que tem a seu cargo a gestão e manutenção dos pavimentos aeronáuticos.

O contacto directo com consultores com experiência na implementação de sistemas de gestão de pavimentos, proporcionou uma consciência adicional do estado de desenvolvimento dos SGPA existentes no mercado, sendo que grande parte destes foram desenvolvidos tendo por base sistemas de gestão de pavimentos rodoviários e adaptados ao sistema aeroportuário. Por se tratar de uma área em grande expansão e constante transformação, a maior parte dos sistemas são criados e implementados com base nas necessidades específicas de cada cliente com desenvolvimentos à medida, pelo que não se procurou diferenciá-los mas focar as características necessárias para que constituam efectivamente uma ferramenta de apoio à gestão das redes de pavimentos.

Numa segunda fase, procedeu-se à recolha de dados fundamentais para a abordagem do caso de estudo prático.

A informação necessária à descrição de metodologias e procedimentos utilizados resultou não só de um processo de pesquisa e de noções adquiridas ao longo da dissertação como da experiência e conhecimentos partilhados por vários departamentos da ANA Aeroportos de Portugal, em especial, pelo Departamento de Manutenção do Aeroporto de Lisboa.

1.4 Estrutura do Conteúdo

A presente dissertação é constituída por 6 capítulos incluindo o capítulo 1 introdutório e o capítulo 6 no qual se apresentam as conclusões.

No capítulo 2 é dada especial atenção aos componentes do "Lado Ar" da infraestrutura aeroportuária. Para uma melhor compreensão de significados, são dadas algumas definições dos elementos constituintes do complexo aeroportuário e contextualizadas normas e recomendações. Posteriormente descrevem-se e caracterizam-se as redes de pavimentos aeronáuticos, drenagem e sinalização, bem como a evolução do seu estado de conservação ao longo do tempo.

O capítulo 3 é inteiramente dedicado à “observação dos pavimentos” por se tratar de uma actividade complexa e de elevada importância na operação de um sistema de gestão de pavimentos. São apresentados indicadores de desempenho e parâmetros de estado correntemente utilizados na avaliação da qualidade funcional/estrutural do pavimento bem como as respectivas técnicas e equipamentos de medição representativos, quer a nível nacional quer a nível internacional, atendendo às normas e recomendações aeronáuticas em vigor.

O capítulo 4 refere-se à aplicabilidade dos sistemas de gestão aos pavimentos aeronáuticos. São apresentadas as características, propriedades, as vantagens e a importância da sua implementação em administrações aeroportuárias. É mostrada a estrutura geral de um sistema de gestão de pavimentos aeroportuários e são descritos os módulos que o compõem. É feita uma abordagem aos sistemas de informação geográfica, na medida em que a sua utilização tem vindo a crescer no âmbito da manutenção e gestão dos pavimentos e enumeradas as vantagens da sua utilização e integração com os SGPA.

O capítulo 5 foca a importância de formular um plano de manutenção de longo prazo para os pavimentos aeronáutico e as práticas comuns neste âmbito, dando como exemplo o caso de estudo do Aeroporto de Lisboa. É feita uma descrição geral do aeroporto como enquadramento para a descrição da necessidade de utilização de sistemas de gestão e de informação geográfica na manutenção dos pavimentos, tendo como referência a experiência do próprio aeroporto e as orientações internacionais.

Por último, no capítulo 6 foram efectuadas considerações finais dos principais aspectos focados nos capítulos anteriores, tendo em especial consideração a importância da utilização de SGPA nas actividades de gestão, manutenção das infraestruturas aeronáuticas abordadas, com consequências no melhoramento das condições de serviço e na redução custos, beneficiando administrações e utilizadores. São feitas reflexões tendo por base o caso de estudo prático e apresentam-se sugestões para trabalhos de investigação futura.

2. A Infraestrutura Aeroportuária

2.1 Apresentação e Descrição dos Principais Componentes

A infraestrutura aeroportuária é uma área que agrega os serviços necessários para a realização de aterragens e descolagens de aeronaves (Ashford, et al., 1996), podendo dividir-se em duas zonas distintas: “Lado Ar” e “Lado Terra”.

O “Lado Ar” é definido pelo conjunto da área de movimento de aeronaves do aeroporto, dos seus terrenos adjacentes e dos edifícios, aos quais o acesso é controlado. No total, ocupa entre 80 a 95% da área de implantação da infraestrutura aeroportuária. O “Lado Terra” é constituído por parte dos edifícios para passageiros, parques de estacionamento, estradas de acesso e áreas de carga, cujo acesso não é controlado, ocupando entre 5 a 20% do total da infraestrutura (Neves, 2009[b]).

Pela área que ocupam bem como pela importância que tem na operacionalidade e segurança das áreas de movimento de um aeroporto, os pavimentos aeronáuticos são um dos principais componentes da infraestrutura aeroportuária, juntamente com outros sistemas que lhes estão associados, como a sinalização e a drenagem. Por este motivo, grande parte do segundo capítulo é dedicado à compreensão destas infraestruturas.

Para melhor entendimento do complexo aeroportuário, descrevem-se em seguida alguns conceitos necessários à sua definição.

À área definida em terra ou na água (incluindo quaisquer edifícios, instalações e equipamentos) destinada à utilização, total ou parcial, de aeronaves em manobras, partidas e chegadas, dá-se o nome de Aeródromo.

Um aeródromo, juntamente com instalações e serviços acessíveis ao público, controlo de embarque de passageiros e de carga, recolha, abastecimento, manutenção e reparação de aviões, constitui um Aeroporto.

O “Lado Ar” de um aeroporto encontra-se dividido por áreas consoante o tipo de utilização, semelhantemente ao que se encontra na Figura 2.1. A “Área de Aterragem” destina-se à aterragem ou descolagem de aeronaves contemplando o conjunto de pistas do aeroporto. A “Área de Manobra” contempla as áreas de aterragem mais as zonas de *táxi* (circulação) de aeronaves. Finalmente, a “Área de Movimento” inclui todas as áreas de manobras e de estacionamento.

A pista (*runway*) é um elemento de destaque num aeródromo. Constituída por uma zona rectangular pavimentada, está preparada para a aterragem e descolagem de aeronaves ao longo do seu comprimento.

Para que as aeronaves possam movimentar-se no "Lado Ar", são necessários caminhos terrestres que assegurem as ligações entre as várias partes. Na terminologia aeronáutica dá-se o nome de caminhos de circulação (*taxiways*) às infraestruturas que proporcionam estas ligações.

Às restantes zonas pavimentadas dá-se o nome de placas ou plataformas que também recebem designações diferentes consoante a sua finalidade.

Uma plataforma de estacionamento (*apron*) é uma área pavimentada destinada a acomodar aeronaves para fins de embarque ou desembarque de passageiros, correio ou carga, abastecimento de combustível, estacionamento ou manutenção.

Uma plataforma de manutenção (*maintenance*) é constituída por áreas pavimentadas destinadas à manutenção das aeronaves.

As plataformas de espera (*overrun*) são áreas situadas na cabeceira das pistas onde as aeronaves podem aguardar a sua vez de entrar na pista sem obstruir os caminhos de circulação de acesso à mesma.

Às áreas situadas em locais isolados do aeroporto para onde são desviados os aviões com cargas especiais ou sujeitos a actos de pirataria aérea, dá-se o nome de plataforma de segurança.

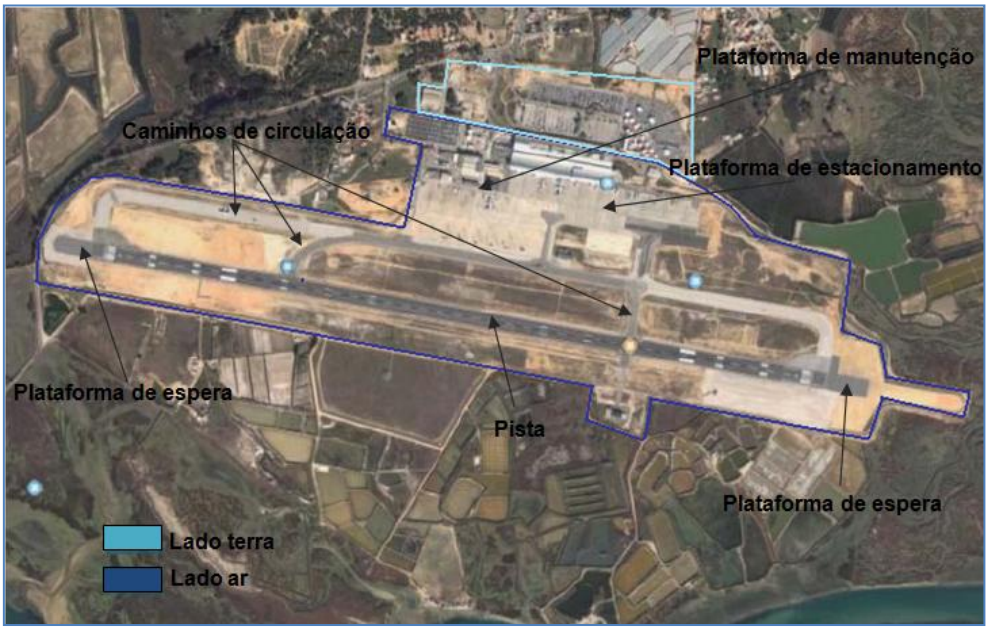


Figura 2.1 – Aeroporto de Faro, Portugal: exemplo das várias áreas de operação.

2.2 Normas e Recomendações

Em Portugal, o Instituto Nacional da Aviação Civil (INAC) é uma pessoa colectiva de direito público, dotada de autonomia administrativa e financeira, que tem como finalidade supervisionar, regulamentar e inspeccionar o sector da aviação civil. O INAC colabora e prepara os diplomas legais e assessora o Governo em termos aeronáuticos.

No âmbito das suas competências, está a cargo do INAC definir as regras necessárias referentes à aplicação de normas e de recomendações de normalização técnica, criadas pelos organismos internacionais do sector da aviação civil.

As normas e práticas internacionais recomendadas para aeródromos foram pela primeira vez aprovadas em Portugal a 28 de Abril de 1948, nos termos das disposições da Convenção de Chicago (artigo 37 da Convenção sobre Aviação Civil Internacional, 1944), depois de ratificadas por um número significativo e suficiente de estados.

A Organização de Aviação Civil Internacional – ICAO – tem por objectivo promover o desenvolvimento seguro e ordenado da aviação civil internacional, bem como proporcionar o estabelecimento de serviços de transporte aéreo internacional com base na igualdade de oportunidades, e de acordo com princípios económicos (ICAO).

Do disposto no artigo 37 da Convenção de Chicago, a ICAO adoptou normas internacionais e práticas recomendadas no âmbito da aviação civil internacional, designadas por Anexos à Convenção. Dos anexos existentes aquele que está directamente relacionado com a construção e operacionalidade de aeródromos é o “Anexo 14 – Volume I” (tendo sido editado pela 5ª vez em Julho de 2009).

No sector aeroportuário português, são sobretudo utilizadas as Normas de Projecto, de Operação e Manutenção definidas pela ICAO e pela FAA (entidade governamental dos Estados Unidos responsável pelos regulamentos e todos os aspectos da aviação civil) e supervisionadas pelo INAC.

2.3 Pavimentos Aeronáuticos

2.3.1 Introdução

Os pavimentos aeronáuticos são projectados, construídos e reabilitados para suportar as cargas impostas pelas aeronaves bem como para proporcionarem uma circulação segura e confortável. A qualidade global do pavimento deve permitir que este resista à acção do tráfego, às condições atmosféricas a que está sujeito, a acções de sopro/sucção dos reactores e hélices, bem como a

acções químicas provocadas pelo derrame de combustíveis, óleos e outros compostos poluentes. A par destas características, deve ainda manter-se limpo e livre de partículas soltas que possam pôr em causa a segurança de circulação das aeronaves (AC:150/5380-6A, 2003).

Os pavimentos aeronáuticos e rodoviários têm alguns pontos em comum, dentro dos princípios que se aplicam a ambos, porém, podem fazer-se várias distinções fundamentais entre eles, das quais se destacam a magnitude da carga aplicada, pressão e largura dos pneus, configuração do trem de aterragem, posicionamento do centro de gravidade da aeronave, secção geométrica e estrutura do pavimento e o número de repetições de carga aplicada ao pavimento durante a sua vida útil.

O projecto de pavimentos aeronáuticos exige o conhecimento claro dos diversos elementos e factores que influenciam a construção, operação e conservação das áreas de movimento dos aeroportos. Os pavimentos das pistas, caminhos de circulação, plataformas de estacionamento, entre outros, em conjunto com a operação de aeronaves, representam um sistema interactivo que deve ser conhecido no processo de dimensionamento e projecto do pavimento, para que seja produzida uma configuração satisfatória destas infraestruturas.

O adequado dimensionamento do pavimento é fundamental para atingir o nível de serviço de operação requerido. Para tal, é necessário definir a espessura das camadas, os materiais constituintes e os processos de construção a empregar tendo em conta elementos como o número, a duração e o tipo de movimentos (pontos de viragem, de aterragem, etc.), o tipo de cargas a serem transportadas, a qualidade do solo e dos materiais de fundação e as condições do meio (como a distribuição da precipitação, a temperatura ambiente, a temperatura dos jactos ou o derrame de combustíveis e óleos).

No dimensionamento da estrutura do pavimento, o peso bruto da aeronave é um factor preponderante. Em termos de cálculo, pode considerar-se que 95% do peso máximo de descolagem (acrescido do peso combustível) é transmitido pelo trem de aterragem principal sendo que os restantes 5% são transmitidos pelo trem dianteiro [ver Figura 2.2 (Sousa et al., 2008)]

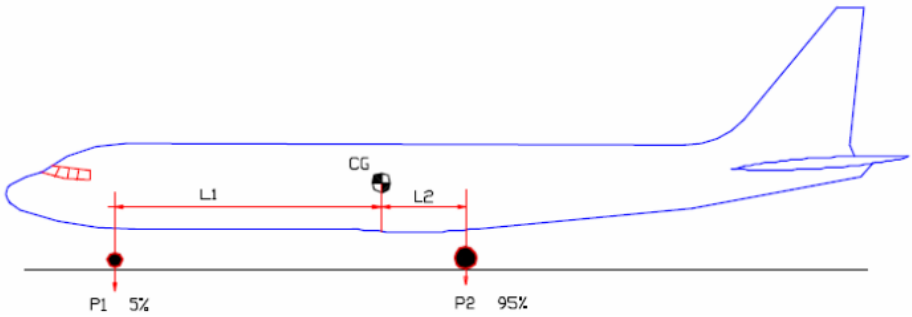


Figura 2.2 – Distribuição das cargas pelo trem de aterragem.

O tipo e a configuração geométrica do conjunto do trem de aterragem determinam a função de distribuição do peso da aeronave no pavimento e as espessuras de projecto.

Diante deste factor, foi criado um índice, o número de classificação de aeronaves – ACN (*Aircraft Classification Number*), que representa de modo prático o efeito das aeronaves no pavimento. A sua determinação depende pois de informação detalhada das características operacionais das aeronaves como por exemplo o peso máximo, a posição do centro de gravidade, a configuração do trem e a pressão dos pneus. Geralmente o ACN é disponibilizado pelos fabricantes de aeronaves (FAA, 2006).

O volume de tráfego, isto é, a frequência dos movimentos, é outro dado indispensável para o dimensionamento. É necessário elaborar previsões do número e tipo de movimentos (descolagem, aterragem) anuais por tipo de aeronave, considerando como crítica aquela que requer maior resistência do pavimento e que mais restrições operacionais têm.

A aplicação de cargas maiores que as definidas nos projectos reduzem a vida útil dos pavimentos, por isso, esta é uma questão crucial para os administradores que contam com altos investimentos ao longo do ciclo de vida destas infraestruturas.

O número de classificação do pavimento – PCN (*Pavement Classification Number*) foi criado exactamente para expressar a capacidade estrutural de um pavimento de modo prático e aplicação imediata, sendo o resultado dos vários factores contribuintes para a evolução da capacidade de carga, entre eles, o tipo de pavimento, a capacidade de suporte do solo de fundação, pressão dos pneus e outras informações relevantes para uso operacional.

Com o objectivo de padronizar a classificação de resistência dos pavimentos, foi desenvolvido o método ACN/PCN. O método torna possível expressar o efeito individual de uma aeronave sobre diferentes pavimentos através de um único número que varia de acordo com o peso e configuração da aeronave, o tipo de pavimento e a resistência do terreno de fundação.

Neste âmbito, a ICAO definiu que todos os pavimentos onde operem aeronaves com peso total ou superior a 5700 kg devem ser avaliados segundo a classificação ACN/PCN. O PCN publicado indica e permite que uma aeronave com um valor de ACN igual ou inferior a este possa operar no pavimento, com eventuais limitações à pressão de enchimento dos pneus ou à carga total transportada, em casos de aeronaves específicas (ICAO, 2004). Deste modo, o método ACN/PCN obriga à publicação dos seguintes dados:

- valor de classificação do pavimento (PCN);
- tipo de pavimento;
- resistência do solo de fundação (4 categorias);
- valor máximo ou categoria de pressão de enchimento dos pneus (4 categorias);

- método usado para a avaliação do pavimento (técnica ou empírica) sendo que a avaliação técnica consiste na medição das deflexões no pavimento, com Deflectómetro de Impacto pesado, provocadas por uma carga de 240 KN em placa de 45 cm e a avaliação empírica determina o ACN da aeronave crítica que utiliza o aeroporto convertendo esse número num PCN equivalente e publicando-o na AIP (*Aeronautical Information Publication*).

Não se tratando de um método de dimensionamento, o ACN/PCN, pretende apenas estabelecer uma relação entre a carga da aeronave e o efeito relativo que esta tem sobre o pavimento, avaliando a compatibilidade entre ambos.

2.3.2 Classificação dos Pavimentos Aeronáuticos

Os pavimentos comportam-se de forma diferente às solicitações impostas pelo tráfego e variações climáticas em consonância com os materiais usados nas diferentes camadas. De acordo com a sua constituição e a sua deformabilidade é possível distinguir diferentes classes.

Em geral, os pavimentos aeronáuticos dividem-se em duas classes: pavimentos flexíveis e pavimentos rígidos. No entanto, podem ocorrer combinações de tipos de pavimentos e camadas estabilizantes, reforços betuminosos ou rígidos (*overlays*) que resultam em pavimentos complexos, os quais no entanto, para a FAA, continuam classificar-se como rígidos ou flexíveis (AC:150/5380-6A, 2003).

A escolha do tipo de pavimento a ser utilizado nas diversas áreas da rede de pavimentos de um aeroporto tem em consideração razões de ordem técnica e económica. A tendência, ao nível de projecto, é utilizar pavimentos flexíveis nas pistas e caminhos de circulação, devido às suas boas características de atrito, regularidade e conforto. Os pavimentos rígidos são mais usados nas áreas de estacionamento de aeronaves devido à sua maior resistência química aos combustíveis, óleos e lubrificantes.

2.3.2.1 Pavimentos Rígidos

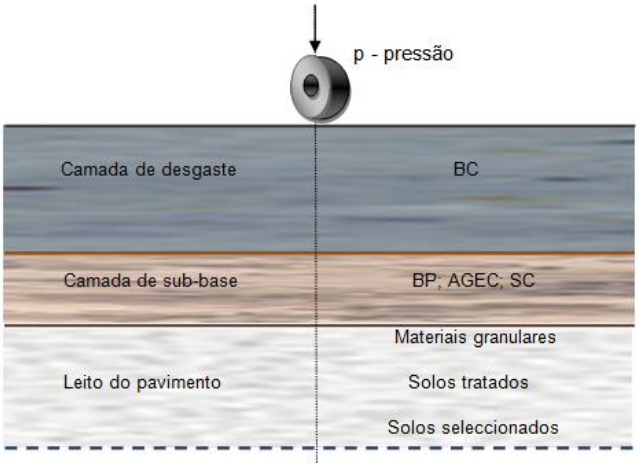
O pavimento rígido é constituído por uma camada superior (laje) de betão de cimento, geralmente cimento *portland*, que funciona simultaneamente como camada de desgaste e de base, com funções de suporte. A elevada resistência à flexão do betão de cimento faz com que o pavimento não sofra deformações acentuadas, mesmo quando sujeito a temperaturas elevadas, a tráfego pesado e intenso.

É muito importante que esta camada garanta a impermeabilidade do pavimento, não só através da laje como das juntas que devem estar seladas com material adequado.

Como a laje de betão absorve as cargas impostas ao pavimento através de uma grande área, a tensão vertical máxima que atinge a fundação corresponde a uma pequena fracção da pressão de contacto pneu-pavimento. Este facto leva a que a sub-base não desempenhe um papel tão importante na capacidade resistente do pavimento, como no caso de um pavimento flexível (descrito mais à frente) mas tenha antes um papel de regularização (AC:150/5380-6A, 2003).

A camada de sub-base é constituída por material granular normalmente estabilizado com ligante hidráulico (betão pobre, solo-cimento) de forma a oferecer uma boa resistência a solicitações de tráfego pesado e intenso. Também visa oferecer uma superfície estável e uniforme à camada sobrejacente, com capacidade para resistir à erosão, tanto no decorrer da obra como ao longo da vida útil do pavimento.

A fundação é constituída por material homogéneo, não sensível à água. Se apresentar heterogeneidade nas suas características físicas e mecânicas bem como reduzida capacidade de carga, deve incorporar um leito de pavimento com solo melhorado. Na Figura 2.3 pode ver-se a constituição típica de um pavimento rígido.



Legenda:
BC: Betão de cimento.
BP: Betão pobre.
AGEC: Agregado de granulometria extensa estabilizado com cimento.
SC: Solo-cimento.

Figura 2.3 – Constituição típica de um pavimento rígido.

Quanto à tipologia, os pavimentos rígidos podem agrupar-se em cinco categorias diferentes (Branco et al., 2006) dependendo da forma como controlam o fendilhamento por retracção, como se pode ver na Figura 2.4. Nos aeroportos, são os pavimentos de betão armado com juntas os mais correntes.

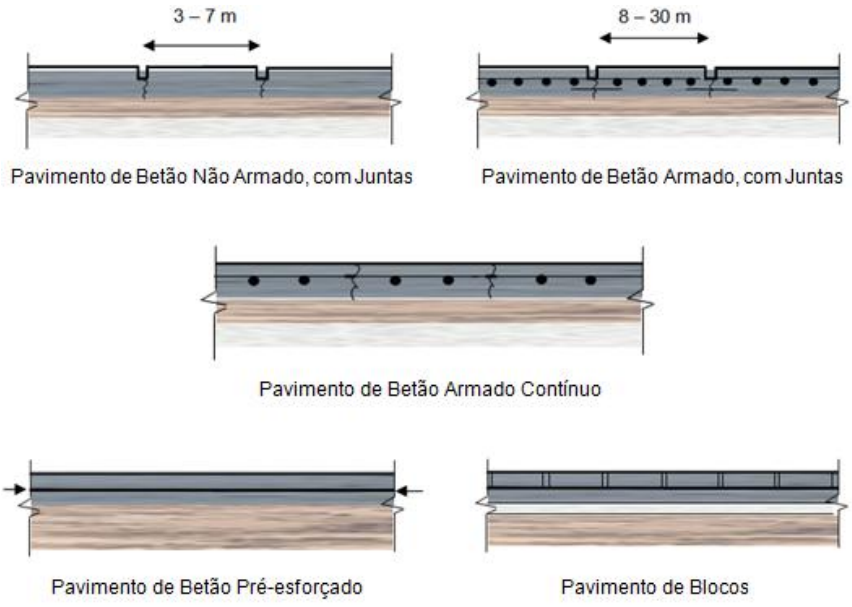


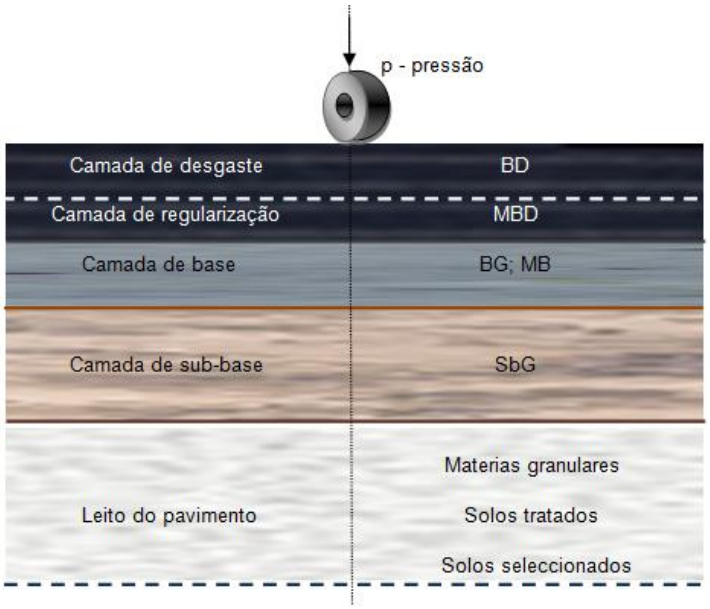
Figura 2.4 – Tipos de pavimentos rígidos.

2.3.2.2 Pavimentos Flexíveis

Os pavimentos flexíveis podem ter uma constituição muito variável dependendo das características dos materiais disponíveis, das condições climáticas, da resistência do solo de fundação, da intensidade e tipo de tráfego a que estão sujeitos. A sua composição deve permitir que as cargas transmitidas, desde a superfície até à fundação, não excedam a capacidade de carga das sucessivas camadas, isto é, as camadas devem estar dispostas de maneira a que os respectivos módulos de elasticidade ou rigidez sejam progressivamente decrescentes em profundidade.

No âmbito aeroportuário existem algumas características importantes que se espera que os pavimentos tenham, como boas condições de aderência (como prevenção da hidroplanagem de aeronaves) e resistência ao ataque químico de agentes poluentes. Os pavimentos flexíveis porosos, constituídos por uma mistura aberta de agregados e betumes melhoram a drenagem do pavimento e consequentemente a visibilidade das marcas horizontais em tempo de chuva. Os pavimentos modificados por adição de resinas e endurecedores são menos susceptíveis à temperatura e muito resistentes a ataques químicos de combustíveis e óleos.

Na Figura 2.5 é mostrada a composição de um pavimento flexível típico.



Legenda:

BD: Betão betuminoso em camada de desgaste.

MBD: Mistura betuminosa densa em camada de desgaste.

MB: Macadame betuminoso em camada de base.

BG: Base granular.

SbG: Sub-base granular em material britado sem recomposição ("*tout-venant*") ou com recomposição em central.

Figura 2.5 – Constituição típica de um pavimento flexível.

A camada de desgaste e de regularização é construída a partir de uma mistura de agregados seleccionados ligados entre si por um ligante betuminoso. A superfície da camada de desgaste previne a penetração da água superficial na camada de base e é fundamental que proporcione uma circulação suave e livre de partículas desagregadas, de forma a não colocar em risco a segurança de pessoas e bens. Deve ainda ser capaz de suportar as cargas das aeronaves, apresentando boa resistência à derrapagem sem que isso comprometa a integridade dos pneus das aeronaves. Por se tratar da camada que está mais sujeita às condições atmosféricas, é também a que mais se degrada. Não só apresenta degradações resultantes do seu comportamento físico, como revela patologias de camadas subjacentes.

A camada de base é a principal componente estrutural do pavimento flexível e distribui as cargas a que está sujeita através da camada de sub-base e desta para a fundação. Dimensionada para resistir às forças de compressão produzidas à superfície, evita que o pavimento atinja o estado último de ruína e se deforme permanentemente.

Composta por agregados duros, resistentes ao choque, ao atrito entre as suas próprias partículas e ao desgaste produzido pelo tráfego na superfície do pavimento, a camada de base pode ou não ser estabilizada. As bases estabilizadas incorporam normalmente ligantes como o betume asfáltico ou o cimento *portland* e transformam o pavimento numa estrutura semi-flexível ou semi-rígida.

A sua qualidade é inevitavelmente influenciada pela composição, propriedades físicas e compactação dos materiais constituintes.

A camada de sub-base está sujeita a menores tensões de compressão e pode ser constituída por uma camada granular simplesmente compactada. Embora possua características resistentes, desempenha essencialmente funções de drenagem. Deve por isso ser constituída por materiais granulares com boas características drenantes de modo a evitar a ascensão de água por percolação e se necessário dotada de um tapete drenante (geotêxtil) que impeça a subida de finos para as camadas superiores.

A fundação, que inclui não só as terraplenagens (aterro ou escavação) mas também o leito de pavimento, é composta por solo natural compactado. No pavimento flexível, a fundação está sujeita a tensões bastantes menores do que a superfície, a base ou a sub-base. Grande parte das tensões é dissipada ao longo das camadas granulares.

2.3.2.3 Camada Tratadas

Consoante as características do solo ou do tráfego actuante pode ser necessário introduzir na estrutura do pavimento uma camada tratada, normalmente resultante da estabilização dos materiais com ligantes hidráulicos. Os casos mais frequentes em pavimentos aeroportuários são as camadas em betão pobre ou solo-cimento.

Os pavimentos rígidos mais recentes que são projectados para acomodar aeronaves com centenas de toneladas, possuem uma camada de sub-base estabilizada porque lhes confere maior capacidade de carga.

Nos pavimentos flexíveis pode alterar-se a sua constituição estabilizando a camada de base com betão pobre, de modo a que esta absorva grande parte dos esforços verticais actuantes. Desta forma, o solo de fundação receberá os restantes esforços verticais de uma forma muito reduzida.

2.3.2.4 Camadas de Reforço

A camada de reforço permite incrementar a capacidade de carga, bem como corrigir a deterioração da superfície do pavimento, melhorando a qualidade de circulação, a drenagem superficial e evitando que o pavimento se degrade também do ponto de vista estrutural.

As camadas de reforço podem ser aplicadas num pavimento que está danificado, e/ou cuja vida útil chegou ao fim, ou mesmo, quando é necessário preparar a estrutura para condições de tráfego mais exigentes. Classificam-se como rígidas ou flexíveis, em função dos materiais utilizados.

Em alternativa às camadas de reforço, considera-se importante que também nos pavimentos aeroportuários se possa considerar a hipótese de reciclagem, á semelhança daquilo que vem a acontecer com grande desenvolvimento nos pavimentos rodoviários.

2.3.3 Degradações dos Pavimentos Aeronáuticos

Os pavimentos aeronáuticos encontram-se submetidos a diversas acções externas, o que conduz à redução progressiva da sua qualidade inicial, logo após a sua construção.

À semelhança dos pavimentos rodoviários, pode exemplificar-se a evolução das solicitações nos pavimentos aeronáuticos de acordo com a Figura 2.6.

A acção do tráfego (A_i), sob determinadas condições climatéricas, num pavimento com propriedades dos materiais constituintes (P_i), e geometria da estrutura (G_i), gera solicitações (S_i) que modificam as características iniciais dos materiais (Pereira et al., 1999[a]).

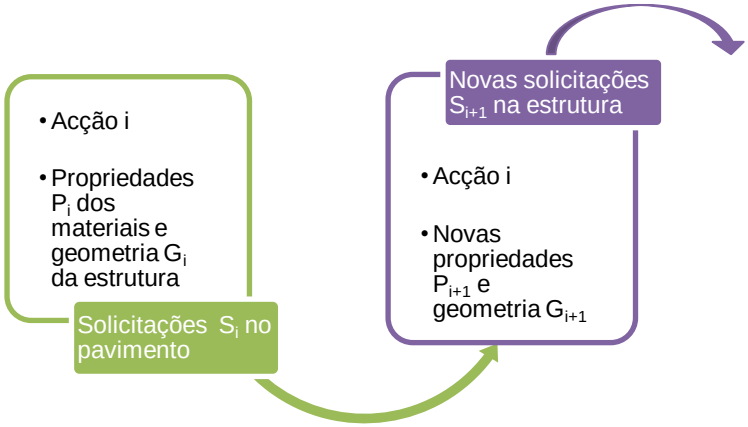


Figura 2.6 – Evolução das solicitações num pavimento rodoviário, aeroportuário [adaptado de (Pereira, et al., 1999[a])].

Novas solicitações são geradas e com elas a contínua modificação dos materiais. Entra assim em marcha o ciclo de evolução das degradações de um pavimento, no qual uma degradação dá origem a novos tipos de degradações, que por sua vez influenciam as características da primeira.

Os factores que mais contribuem para a evolução do ciclo degradativo denominam-se *factores activos* e englobam a acção do tráfego e das condições climáticas. Porém os factores característicos do pavimento que se prendem com o seu dimensionamento e processo construtivo, como é exemplo a espessura das camadas, os materiais utilizados e a qualidade de construção, também exercem influência neste processo e denominam-se *factores passivos* (Branco et al., 2006).

Alguns indicadores e sinais exteriores são sinónimos de degradação do pavimento e muitas vezes revelam a causa do seu aparecimento. Embora existam vários tipos de degradações, com características muito próprias, é possível agrupá-las em cinco categorias diferentes: fendilhamento; deformação; desagregação e perda de resistência à derrapagem (AC:150/5380-6A, 2003).

Os problemas associados às degradações do pavimento também se relacionam directamente com o tipo de pavimento em causa (rígido, flexível) uma vez que o seu aparecimento é condicionado pela estrutura, constituição e método de construção do mesmo.

No ANEXO IV descrevem-se os vários tipos de degradações para os diferentes tipos de pavimentos, de acordo com a norma ASTM 5340, nomeadamente:

Pavimentos rígidos:

a) Fendilhamento: fendilhamento longitudinal, transversal e diagonal; "lasqueamento" da laje – *"shattered slab";* fissuras nos cantos; danos na selagem das juntas; durabilidade ao fendilhamento – *"durability (D) cracking"*.
b) Desagregação: fendilhamento com perda de material e pele de crocodilo; lasqueamento da junta; "lasqueamento" do canto; empolamento.
c) Deformação: bombagem; escalonamento.
d) Perda de resistência à derrapagem: polimento dos agregados; contaminantes.

Pavimentos flexíveis:

a) Fendilhamento: fenda longitudinal e transversal; pele de crocodilo ou fendilhamento por fadiga; fendilhamento em bloco; fendas parabólicas; fendilhamento por reflexão – "*reflection cracking"*.
b) Desagregação da camada de desgaste.
c) Deformações: rodeiras; ondulação; abatimento; expansão.
d) Perda de resistência à derrapagem: derrame de combustível; polimento dos agregados; exsudação do betume; contaminantes.

2.3.4 Catálogo de Degradações

Nos sistemas de avaliação da qualidade dos pavimentos, as degradações observáveis à superfície, constituem um parâmetro preponderante no processo de análise. De modo a obter fiabilidade e homogeneidade no resultado das observações foram elaborados documentos de referência – Catálogos de Degradações.

Um Catálogo de Degradações deverá compreender para cada tipo de degradação e por tipo de pavimento, a seguinte informação (Branco et al., 2006): (i) definição do tipo de degradação, para apoiar a identificação das degradações observadas; (ii) níveis ou classes de gravidades, de modo a

permitir a quantificação das degradações; (iii) indicação do modo de medição das degradações; (iv) indicação das causas possíveis e correspondentes evoluções mais prováveis.

Estes documentos servem de apoio tanto a observações feitas "*in situ*" como observações realizadas em gabinete por meio de imagens obtidas através de equipamento fotográfico ou de vídeo.

O Catálogo de Degradações desenvolvido e utilizado pelo programa SHRP (*Strategic Highway Research Program* – USA) para o subprograma LTPP (*Long-Term Pavement Performance*) é recomendado como orientação para a identificação de degradações de pavimentos rodoviários e aeronáuticos. Para cada tipo de pavimento (flexível ou rígido) é feita uma definição prévia dos tipos de degradações e, para cada tipo de degradação, o catálogo faz a sua descrição, com base em diferentes graus de gravidade (em geral três graus: baixo, médio, alto), fornecendo indicações quanto ao seu modo de medição ou avaliação. Além disso, são também apresentadas fotografias ilustrativas dos diferentes casos de gravidade, previamente definidos para melhor compreensão do observador.

2.4 Drenagem dos Pavimentos Aeronáuticos

Um sistema de drenagem apropriado, que remova a água superficial e drene a água das camadas mais profundas, é essencial para garantir a segurança das aeronaves e longevidade do pavimento. A acumulação de água na superfície do pavimento pode dificultar o processo de descolagem e aterragem das aeronaves pondo em risco a sua segurança, assim como favorecer a degradação prematura do pavimento (Horonjeff et al., 1994). A saturação das camadas mais profundas do pavimento pode levar à erosão das pistas e à redução ou perda da capacidade de suporte do pavimento, uma vez que a água presente nos vazios, juntamente com a acção das cargas à superfície, gera uma onda de pressão que vai erodindo e impulsionando para o exterior o material das camadas interiores (AC:150/5380-6A, 2003).

Um sistema de drenagem de um aeroporto deve então assegurar as seguintes acções (Neves, 2009[a]):

- evitar que a água caída nos terrenos limítrofes aceda ao pavimento;
- retirar, com rapidez, a água caída sobre a superfície do pavimento;
- evitar o acesso da água à fundação do pavimento;
- restabelecer as linhas de água naturais interrompidas.

2.4.1 Tipos de Drenagem

Existem dois tipos de drenagem: a drenagem superficial e drenagem subterrânea ou profunda. Ambas são necessárias e idealmente devem funcionar de forma independente (AC:150/5380-6A, 2003).

2.4.1.1 Drenagem Superficial

A drenagem superficial colecta a água das chuvas e do degelo que se acumula na superfície do pavimento e nos terrenos circundantes e, é conseguida através da impermeabilização do pavimento, inclinações transversais bem como de uma rede de colectores e órgãos acessórios (sumidouros, caixas de visita, etc.).

O dimensionamento de um sistema de drenagem superficial é feito com base no estudo hidrológico da zona de análise. O estudo tem como objectivo calcular a "precipitação de projecto", de modo a determinar o "caudal de dimensionamento" da rede de drenagem pluvial.

Essa precipitação corresponde à "intensidade de precipitação", a qual, por sua vez, depende do "período de retorno", e da "duração da chuvada" considerados.

A FAA recomenda que o dimensionamento de sistemas de drenagem pluviais de aeroportos civis seja calculado para diferentes períodos de retorno, com a determinação do caudal de ponta de cheia (método racional), podendo em algumas situações justificar-se a consideração de períodos de retorno de 50 anos se o potencial alagamento das infraestruturas colocar em causa a segurança de pessoas e bens.

De acordo com a Equação [2.1]:

$$\boldsymbol{T = \frac{1}{p}}\ , \qquad \textbf{[2.1]}$$

Na qual:
T – Período de retorno, geralmente em anos.
p – Probabilidade do evento hidrológico ser igualado ou superado.

Para T = 5 anos → p = 1 ÷ 5 = 0.2 pelo que existe uma probabilidade de 20% do evento hidrológico ser igualado ou superado.

Para uma análise comparativa dos valores obtidos podem consideram-se três períodos de retorno distintos de 5, 10 e 20 anos.

A duração da chuvada a considerar para o cálculo da intensidade de precipitação, corresponde à situação mais crítica, ou seja, quando toda a área da bacia a montante da secção de cálculo contribui para o caudal dessa secção, o que se verifica quando a duração da chuvada é igual ao tempo de concentração dessa bacia.

Por sua vez, para bacias de drenagem do tipo urbano, constituídas essencialmente por uma rede de colectores, o tempo de concentração é dado pela soma de duas parcelas: o tempo de entrada (te), e o tempo de percurso (tp). O tempo de entrada (te) corresponde ao percurso superficial do caudal pluvial, até ao primeiro dispositivo de entrada no sistema, o tempo de percurso é calculado pela expressão de *Manning-Strickler*, para o cálculo hidráulico do escoamento em regime permanente.

A intensidade de precipitação, para determinado período de retorno e duração de chuvada, pode ser obtida através da respectiva curva de intensidade – duração – frequência (curva L-D-F).

O escoamento das águas deve ser feito com uma velocidade mínima na ordem dos 0,9m/s, para que não haja assoreamento das partículas em suspensão (Prospectiva, 2006).

O "Lado Ar" de um aeroporto deve ter dois sistemas de drenagem superficial distintos. Um sistema de drenagem para as zonas "limpas" como as pistas, caminhos de circulação e plataformas de estacionamento, e um sistema de drenagem para áreas que habitualmente contêm óleos e outras substâncias químicas, como os hangares, áreas de manutenção de aeronaves, etc. (ICAO, 1984).

O sistema de drenagem que se destina às áreas "limpas" deve ainda dispor de separadores de hidrocarbonetos de forma a proteger os cursos de água naturais da poluição que daí possa advir.

a. Dispositivos de Drenagem Superficial

O encaminhamento e reunião das águas superficiais para fora do pavimento são feitos através de inclinações transversais, sumidouros/caleiras e valas.

Os sumidouros (Figura 2.7) /caleiras captam a água reunida através de entradas superiores constituídas por caixas de betão, cujo topo permite a sua passagem através de rasgos contínuos ou gradeamentos (de aço fundido, ferro fundido ou betão reforçado). O gradeamento deve ser dimensionado para suportar a pressão de contacto e a carga exercida pelas rodas das aeronaves que servem a infraestrutura aeronáutica. A tubagem, que pode ter diferentes formas (rectangular, quadrada, oval, "pão de forma" e mais correntemente circular) e constituída por diferentes materiais (betão, metal ou plástico), não deve possuir um diâmetro inferior a 0,3 m, de forma a permitir um escoamento adequado em quaisquer circunstâncias e deve estar colocada a uma profundidade tal que consiga suportar o peso do tráfego.

Em grandes alinhamentos, as entradas dos sumidouros são colocadas em intervalos que variam entre os 60 e 120 metros. A sua localização depende da configuração e inclinações dos pavimentos. Normalmente, se existir um caminho de circulação (*taxiway)* paralelo a uma pista, as entradas são colocadas numa depressão entre as duas. Caso esta situação não se verifique é recomendado que

as entradas do escoamento se situem nos bordos da pista ou na ponta do pé do talude da área classificada[1].

Nas plataformas de estacionamento, as entradas do sistema de drenagem situam-se no pavimento uma vez que esta é a única forma de drenar uma área que ocupa uma grande extensão. As grades existentes devem encontrar-se convenientemente apertadas para que não se soltem com a passagem de veículos (Horonjeff, et al., 1994).

Ao longo dos colectores; que asseguram o transporte dos caudais pluviais, desde os dispositivos de entrada até a um ponto de lançamento; são introduzidas caixas de visita como forma de acesso, para limpeza e manutenção.

Figura 2.7 – Sumidouro: construção, à esquerda e aspecto final, à direita.

2.4.1.2 Drenagem Subterrânea ou Profunda

A drenagem subterrânea ou profunda pretende travar o aumento do teor em água nos solos de fundação através da intersecção e desvio as águas subterrâneas, por remoção da água livre contida no solo de fundação e abaixamento do nível freático (Neves, 2009[a]).

Este tipo de drenagem é desejável em locais onde existe a possibilidade do nível freático estacionar a menos de 300 mm da camada de base (Horonjeff, et al., 1994).

A drenagem da camada de base é conseguida através da instalação de drenos colocados adjacente e paralelamente aos bordos do pavimento, aos quais se dá o nome de drenos de intercepção longitudinal (Figura 2.9).

Os solos de fundação são drenados através de tubos instalados ao longo dos bordos do pavimento e, em algumas situações, onde o nível freático é muito elevado, por baixo do pavimento. O centro do

[1] A FAA recomenda que as entradas do sistema de drenagem estejam pelo menos a 23 metros de distância do bordo do pavimento.

dispositivo de drenagem (dreno) deve estar colocado a menos de 300 mm acima do nível da água subterrânea. Quando instalados ao longo dos bordos do pavimento, os drenos também podem ser usados para drenar simultaneamente a camada de base.

Na possibilidade da água de terrenos adjacentes cruzar e circular debaixo dos pavimentos aeronáuticos, é importante interceptar o seu curso com mecanismos de drenagem apropriados. A drenagem de intercepção é conseguida através de valas abertas instaladas bem além do pavimento, ou na impossibilidade da sua instalação, através de drenos de intercepção transversal (Horonjeff, et al., 1994) e tapetes drenantes sob o pavimento (Neves, 2009[a]).

a. Dispositivos de Drenagem Profunda sob os Pavimentos

A drenagem profunda é conseguida essencialmente através de drenos que são dispositivos constituídos por valas preenchidas com material permeável encerrado em geotêxtil, (material esse que deve estender-se até ao topo da camada de base, como ilustrado na Figura 2.8 e por tubos de drenagem perfurados, situados no mínimo 300 mm abaixo do topo da camada de base.

O material permeável permite a passagem da água para o tubo drenante e impede a passagem de partículas finas que possam colmatar o tubo e o próprio material. O tubo drenante pode ser de betão simples, betão armado, metal ondulado, etc. Aplicação de geotêxteis é feita para que seja mantida a permeabilidade e a integridade estrutural sem que haja erosão interna do dispositivo.

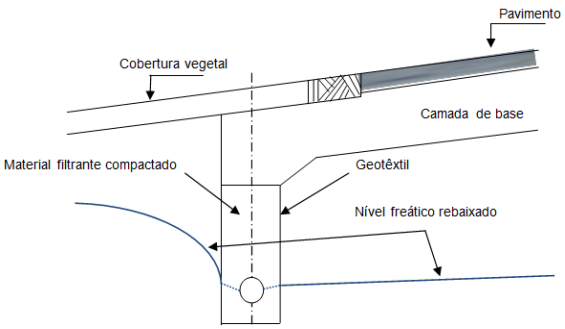


Figura 2.8 – Dreno: secção transversal [adaptado de (Horonjeff, et al., 1994)].

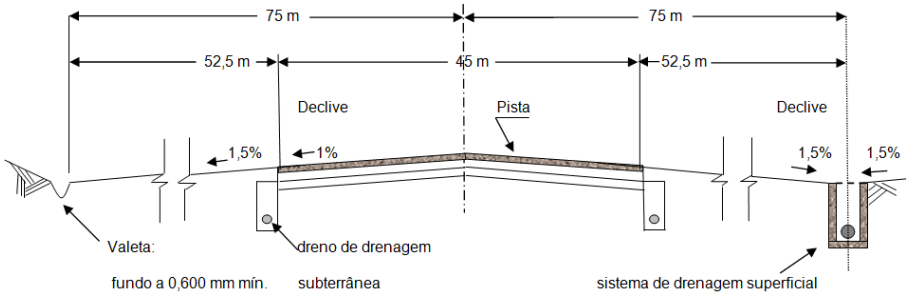


Figura 2.9 – Secção transversal do sistema de drenagem tipo de uma pista [adaptado de (Horonjeff et al., 1994)].

2.4.2 Evolução do Estado dos Sistemas de Drenagem e sua Conservação

Tal como os pavimentos, o sistema de drenagem aeroportuário também carece de manutenção ao longo do tempo, uma vez que está sujeito a alterações provocadas pelas condições climatéricas mas também pela acção do tráfego.

Uma das características mais importantes que o sistema deve manter é a sua capacidade de captação e escoamento de águas, sendo por isso necessário verificar periodicamente a existência de constrangimentos que ponham em causa este objectivo.

Em consequência do seu funcionamento, o sistema de drenagem superficial está susceptível ao assoreamento de partículas e vários tipos de poluentes que com o passar do tempo podem pôr em causa a integridade das infraestruturas e o bom funcionamento do sistema.

A limpeza dos órgãos de drenagem deve ser contemplada após o período seco e sempre que necessário, para que os resíduos acumulados não ponham em causa o escoamento das águas superficiais e consequentemente a segurança de circulação. A ICAO define a periodicidade de 1 vez por ano como mínima para a limpeza do sistema de drenagem.

Deve dar-se especial atenção ao tratamento das bermas (corte e controlo de vegetação) uma vez que a sua manutenção também é relevante para o escoamento das águas pluviais.

A fixação de gradeamentos ou estruturas aparafusadas no pavimento (entradas de sumidouros e caixas de visita) deve ser verificada para que não haja desprendimento de peças que possam interferir com circulação e segurança de viaturas (veículos de apoio e aeronaves).

Nas inspecções periódicas ao sistema de drenagem dos pavimentos deve dar-se especial importância a um conjunto de situações que podem significar problemas eminentes, tais como, zonas de água acumulada, solo acumulado na borda do pavimento impedindo o escoamento, erosão de órgãos de captação de água, entradas de sumidouros obstruídas, saídas do sistema de drenagem profunda obstruídas, tubagens deformadas ou danificadas, erosão em torno de entradas, descoloração no pavimento em juntas ou fendas (AC:150/5380-6A, 2003).

2.5 Sinalização Aeronáutica

A sinalização aeronáutica, diurna, vertical e luminosa, é extremamente importante para a navegação aeronáutica, servindo de orientação aos pilotos durante os procedimentos de descolagem, aterragem, circulação e parqueamento.

Segunda a FAA a uniformidade da sinalização entre aeroportos favorece a segurança e eficiência nos procedimentos de navegação.

Durante o período diurno com luminosidade adequada, não existe necessidade de utilizar sinalização luminosa, no entanto é extremamente importante que exista um bom contraste entre as marcas da pista e o pavimento, assim como um índice de reflectância adequado para que as características importantes do aeroporto sejam visíveis e consigam orientar as aeronaves relativamente ao seu posicionamento.

A experiência tem demonstrado que a identificação do horizonte, dos limites, do início e do centro da pista é o mais importante para os pilotos (Horonjeff et al., 1994).

Neste subcapítulo são apresentados os elementos de sinalização aeronáutica mais significantes, recomendados pela ICAO e pela FAA e utilizados em Portugal pelas entidades aeronáuticas.

2.5.1 Sinalização Diurna

Segundo a FAA, a sinalização diurna pode agrupar-se nos seguintes grupos:

- sinalização de pista (*runway)*;
- sinalização dos caminhos de circulação (*taxiway*);
- sinalização de espera (cabeceira de pista – *overrun*);
- outra sinalização.

As marcas de pista têm cor branca. Nos caminhos de circulação, em zonas onde não é permitida a circulação de aeronaves e em plataformas de espera, as marcas de sinalização são amarelas.

2.5.1.1 Sinalização de Pista

A sinalização serve de guia aos pilotos durante a sua aproximação à pista. Nos pavimentos estão inscritas marcas horizontais e números que facilitam a navegação aérea. Durante o procedimento aproximação, o piloto deve conseguir aterrar a aeronave com visibilidade reduzida ou alcançar condições visuais que permitam uma aterragem visual.

Segundo as normas internacionais, as pistas estão agrupadas em classes para efeitos de sinalização. Mediante os auxílios visuais de ajuda à navegação disponibilizados, uma pista pode pertencer a uma das categorias referenciadas no ANEXO I (em “Classificação das Pistas para Efeitos de Sinalização”).

O Quadro 2.1 mostra como as marcas de sinalização horizontal podem variar em função da classificação da pista.

Quadro 2.1 – Elementos de sinalização de pista [adaptado de (FAA, 2008)].

Elementos de Sinalização	Pista sem instrumentos de ajuda à navegação	Pista de instrumentos de não – precisão	Pista de instrumentos de precisão
Designação	X	X	X
Eixo central	X	X	X
Soleira	X[1]	X	X
Marcas de distância fixas, *Aiming point*	X[2]	X	X
Zona de toque			X
Linhas laterais			X
[1] Pistas destinadas ao transporte comercial internacional [2] Pistas com mais de 1200 metros, usadas por aeronaves de jacto.			

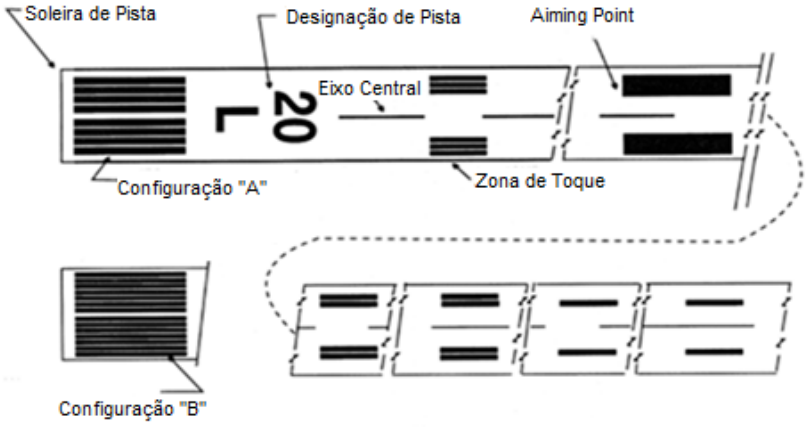


Figura 2.10 – Marcas horizontais de pista de aproximação por instrumentos de precisão [Adaptado da (FAA, 2008)].

a. Identificação de Pista

Cada pista é identificada por um algarismo que indica o seu azimute magnético[2] na direcção de aterragem ou de descolagem, arredondado ao valor mais próximo múltiplo de 10º. Por exemplo, uma pista com rumo de 163º será designada por "Pista 16" e marcada no pavimento como "16" (o último dígito é excluído). Se o azimute for de 90º, o algarismo inscrito no pavimento será o "9".

[2] Ângulo entre o alinhamento da pista e o norte magnético, contado no sentido dos ponteiros do relógio a partir do norte magnético.

Os números de identificação dos dois extremos da pista diferem de 18 valores, que é mesmo que dizer 180º. De acordo com o exemplo anterior, no outro extremo aparece “34” (343º). Desta a forma a pista pode ser designada por “Pista 16/34”.

Quando existem pistas paralelas, é feita uma diferenciação no pavimento com as letras L (*left*), C (*center*) e R (*right*):

- 2 Pistas paralelas: L – R;
- 3 Pistas paralelas: L – C – R;
- 4 Pistas paralelas: L – R – L – R;
- etc.

b. Soleira de Pista (*Threshold*)

A soleira de pista (início operacional) é assinalada com um conjunto de listas longitudinais, uniforme e simetricamente dispostas relativamente ao eixo da pista (Figura 2.10), sendo que a sua geometria é variável em função da categoria da pista. O número de listas pode tomar várias configurações, dependendo da largura de pista, como especificado no Quadro 2.2. Em alguns casos a soleira de pista pode ser transferida ou deslocada para outra localização.

Quadro 2.2 – Número de listas de sinalização de soleira de pista (ICAO, 2004).

Largura de pista	Número de listas
18 Metros	4
23 Metros	6
30 Metros	8
45 Metros	12
60 Metros	16

c. Soleira de Pista Deslocada

Devido a trabalhos de construção, manutenção, entre outros, pode ser necessário deslocar temporária ou permanentemente a soleira de pista. Quando a sua deslocalização é permanente devem ser colocadas setas, antes da restante sinalização, como se pode ver na Figura 2.11 (à esquerda). Numa situação temporária, tanto o exemplo A como o exemplo B da Figura 2.11 podem ser usados para assinalar a deslocalização da soleira de pista, sendo que todas as marcas anteriores devem ser escurecidas com excepção do eixo central que é convertido em setas.

d. Eixo Central de Pista

O eixo central de pista identifica o centro da pista e permite o alinhamento das aeronaves com o mesmo durante os procedimentos de descolagem e aterragem. O eixo central é constituído por uma linha branca descontínua, uniformemente espaçada, que divide o pavimento em dois lados iguais.

e. "*Aiming Point*"

O *"aiming point"* (ver Figura 2.10) serve de ponto de referência visual à aterragem das aeronaves e é constituído por duas marcas rectangulares simetricamente dispostas em relação ao eixo central do pavimento. A distância a que este ponto deve estar da sinalização de soleira de pista e as suas dimensões, variam em função da distância de aterragem (consultar ANEXO I – Quadro I.1).

f. Zona de Toque

A zona de toque identifica a zona de impacto para a operação de aterragem e fornece informação da distância de aterragem disponível ao longo da pista. Esta zona é identificada por pares de marcas rectangulares (pares de uma, duas ou três listas) simetricamente dispostas relativamente ao eixo central (como pode ver-se na Figura 2.10). Em pistas usadas em ambas as direcções, a zona de toque deve ser exibida nas duas extremidades. O Quadro 2.3 resume a relação entre a distância de aterragem disponível ou entre a sinalização de soleira de pista, e o(s) par(es) de marcas usadas.

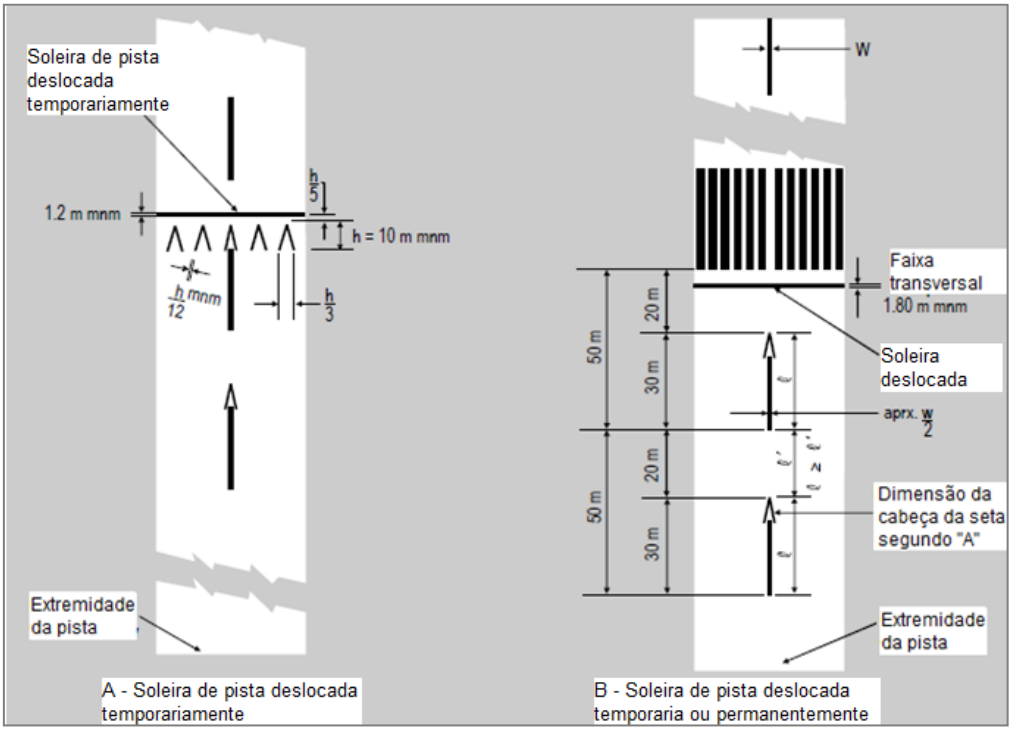


Figura 2.11 – Soleira deslocada temporariamente (à esquerda); soleira deslocada temporária ou permanente (à direita), [Adaptado de (ICAO, 2004)].

Quadro 2.3 – Sinalização da zona de toque: Par(es) de marcas em função da distância de aterragem disponível.

Distância de aterragem disponível ou distância entre soleiras	Par (es) de marcas
Menos de 900 m	1
[900 m; 1200 m [	2
[1200 m; 1500 m [	3
[1500 m; 2400 m [	4
Mais de 2400 m	6

g. Linhas Delimitadoras de Pista

A delimitação lateral da pista é conseguida através de uma linha branca contínua que acentua o contraste visual entre a pista e as bermas.

h. Bermas (Shoulder´s)

A FAA recomenda a sinalização de bermas de forma evidenciar as áreas contíguas à pista, como margens e terrenos adjacentes, pelas quais não é aconselhável circular. As bermas são assinaladas com listas amarelas pintadas nas margens do pavimento e estabelecem um ângulo de 45º com o ponto médio da pista. Na Figura I.1 do ANEXO I pode ver-se um exemplo deste tipo de marcação.

2.5.1.2 Sinalização dos Corredores de Circulação – *Taxiways*

A sinalização diurna para corredores de circulação recomendada pela ICAO refere-se apenas à marcação do eixo central e a sinais de informação e de instrução obrigatória. A FAA aconselha para além destes, a marcação de bermas e limites dos corredores de circulação. Com base nestas referências descrevem-se em seguida os seguintes elementos:

a. Eixo Central

O eixo central de um corredor de circulação é marcado com uma linha contínua amarela que varia entre 15 a 30 cm de largura. Idealmente, as aeronaves devem circular centradas sobre este eixo que lhes serve de guia durante a operação de *taxi.*

b. Eixo Central Conspícuo

Em alguns aeroportos, principalmente nos aeroportos de aviação comercial de maior tráfego, é usado um eixo central com maior conspicuidade. Uma linha amarela é marcada paralelamente ao eixo

central, de ambos os lados para denotar a proximidade de uma zona de espera na proximidade de uma pista (*runway-holding position*), (ver ANEXO I, Figura I.2).

c. Limites do Corredor de Circulação

Os corredores de circulação são delimitados principalmente quando o seu limite não corresponde ao limite do pavimento. Esta delimitação pode ser feita através de uma linha contínua ou descontínua. A FAA especifica que a linha contínua deve ser dupla, amarela e distinguir a zona pavimentada de uso exclusivo de aeronaves, da zona não transitável pelas mesmas. A linha descontínua define um limite do corredor de circulação que pode ser transitável por aeronaves e é marcada no pavimento com cor amarela e duplo traço.

d. Marcação de Bermas

Corredores de circulação, zonas de espera e de estacionamento possuem muitas vezes zonas contíguas pavimentadas (bermas), para evitar que os primeiros se degradem por erosão hídrica e empolamento do pavimento. Estas zonas adjacentes, embora pavimentadas, não estão preparadas para receberem as cargas impostas pelas aeronaves, pelo que devem estar sinalizadas com marcas amarelas indicando que o pavimento não se destina à circulação das mesmas (ver Figura 2.12).

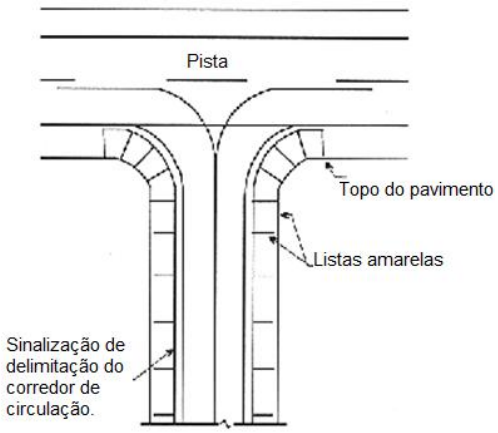


Figura 2.12 – Marcação de bermas de corredores de circulação (FAA, 2008).

e. Sinais Horizontais de Localização

Os sinais de localização pintados na superfície do pavimento têm fundo preto e uma inscrição em amarelo. Estas marcas complementam os sinais verticais de localização situados ao lado do corredor de circulação, e permitem aos pilotos confirmarem a sua localização. Os sinais horizontais de localização situam-se do lado direito do eixo central (Figura 2.13).

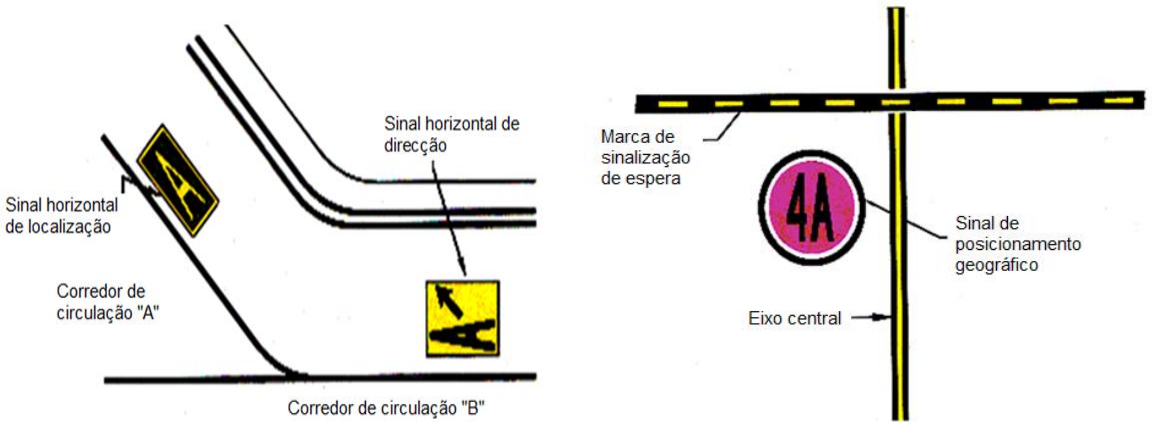


Figura 2.13 – Sinais horizontais de localização em corredores de circulação (à esquerda) e sinal de posicionamento geográfico (à direita).

f. Sinalização de Posicionamento Geográfico

Em locais cuja visibilidade é fraca e cujo intervalo de pavimento visível (*runway visible range* - RVR) é inferior a 360 m, a sinalização de posicionamento geográfico auxilia as operações de *taxi*. Este tipo de sinalização posiciona-se à esquerda do eixo central do corredor de circulação e assinala a posição geográfica com um círculo rosa, circunscrito por outros dois círculos, branco e preto, ou vice-versa, no interior do qual está compreendido um número e uma letra. O número marca a posição e a letra a rota (Figura 2.13 à direita).

2.5.1.3 Sinalização de Espera

a. Posição de Espera de Pista

A posição de espera de pista indica às aeronaves onde devem parar quando se aproximam de uma pista e pode ser encontrada em três localizações: corredores de circulação, plataformas de espera e pistas. Num corredor de circulação, a posição de espera indica ao piloto o local onde deve parar a aeronave até que tenha autorização para avançar para a pista (Figura 2.14 à esquerda). Numa plataforma de espera a sinalização permite que as aeronaves mantenham uma posição de segurança relativamente às operações de descolagem e aterragem que possam estar a decorrer, até que tenham autorização para prosseguir em direcção à pista (ANEXO I, Figura I.4). Numa pista utilizada apenas para operações de “aterragem de curta duração” ou de *taxi,* a posição de espera é instalada antes da intersecção com outra pista (Figura 2.14 à direita).

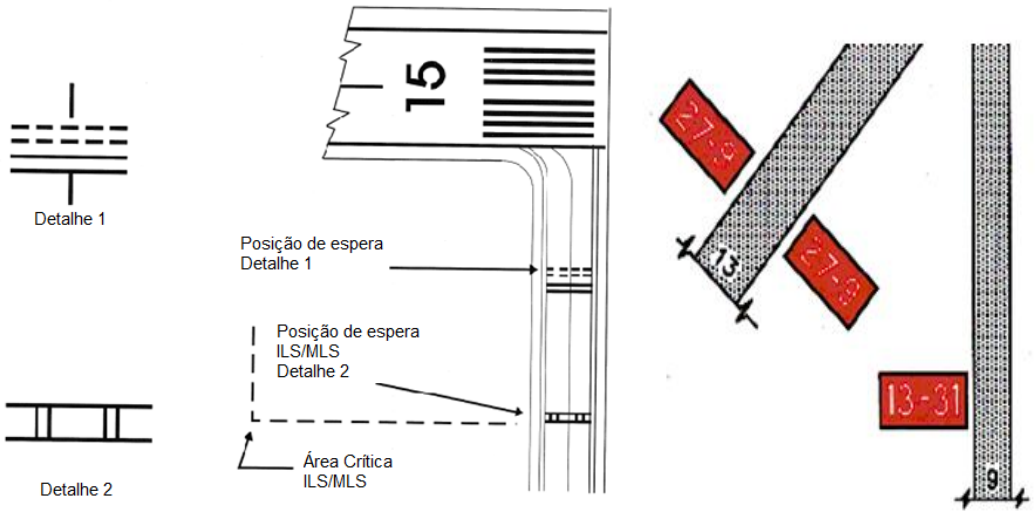


Figura 2.14 – Marcas e sinais de espera: Corredores de circulação, à esquerda e pistas destinadas a operações de *taxi* e aterragens de curta duração, à direita, (Fonte: FAA).

b. Posição de Espera de Pista para Sistemas ILS/MLS

As marcas que assinalam a posição de espera para sistemas de guiamento automático (ILS/MLS) estão assinaladas na Figura 2.14 à esquerda (ver Detalhe 2). Juntamente com estas marcas são instalados sinais de instrução obrigatória (como os da Figura 2.14 à direita).

c. Posição de Espera em Intersecções de Corredores de Circulação

Consiste numa única linha tracejada que acompanha toda a largura do corredor de circulação e permite que as aeronaves parem a uma distância de segurança do local de atravessamento de outras aeronaves (Figura 2.15). Quando a posição de espera não está assinalada em cruzamentos cabe ao piloto parar a aeronave num ponto suficientemente afastado da intersecção.

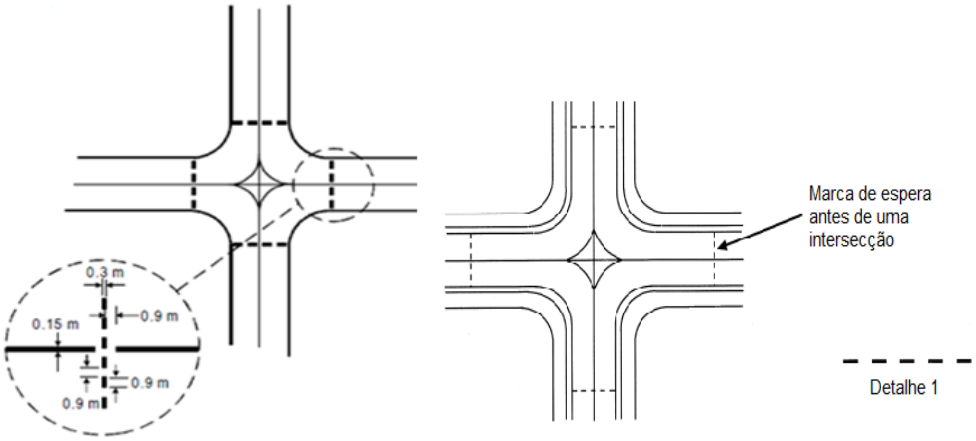


Figura 2.15 – Marcas de espera em intersecções de corredores de circulação: à esquerda Fonte: ICAO e à direita Fonte: FAA.

d. Sinais de Espera

Os sinais de espera são pintados no pavimento com fundo vermelho e inscrição branca e têm como objectivo evidenciar a posição de espera precedendo a restante marcação, (como pode ver-se na Figura 2.16).

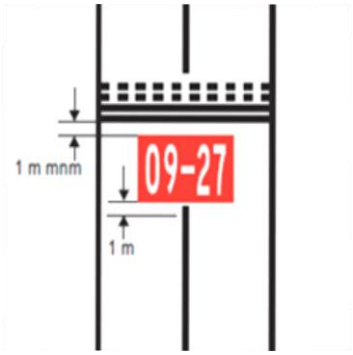


Figura 2.16 – Marcas de espera (ICAO, 2004).

2.5.1.4 Outra Sinalização

No ANEXO I descreve-se ainda outro tipo de sinalização diurna existente nos pavimentos aeronáuticos, necessária à circulação em segurança de aeronaves e de outros veículos.

2.5.2 Sinalização Vertical

Segundo a Organização Internacional de Aviação Civil – ICAO – existem duas grandes categorias de sinais verticais instalados em aeroportos: os sinais de instrução obrigatória e os sinais informativos. Para além destes, o "Anexo 14" particulariza um conjunto de sinais que também devem ser contemplados, como o sinal vertical de identificação VOR, o sinal de identificação de plataforma de aeronaves, o sinal de posição de espera em corredores para veículos, e o sinal vertical de identificação do aeroporto.

A FAA aborda praticamente a mesma sinalética no entanto desagrega os sinais informativos em cinco categorias: sinais de localização, sinais de direcção, sinais de destino, sinais de informação, e sinais de distância remanescente. Para além destes existem também os sinais de instrução obrigatória que completam a classificação.

Nos parágrafos seguintes abordar-se-ão as categorias de sinais mais relevantes apoiadas em alguns exemplos gráficos.

2.5.2.1 Sinais de Instrução Obrigatória

Os sinais de instrução obrigatória têm fundo vermelho e inscrição branca. Servem para advertir a entrada numa pista ou área crítica e proibir a entrada de aeronaves em zonas cuja circulação está interdita. Tipicamente os sinais de instrução obrigatória são na sua maioria sinais de espera. A Figura I.10 (à esquerda) do ANEXO I mostra vários exemplos.

2.5.2.2 Sinais Informativos

Os sinais informativos são sinais que informam o observador de vários aspectos relevantes, como uma direcção, um local de destino, etc. As cores predominantemente usadas são o amarelo e o preto. Segundo o tipo de informação dada, um sinal pode pertencer a uma das subcategorias descritas em seguida.

a. Sinais de Localização

Os sinais de localização são usados para identificar uma pista ou um corredor de circulação. Nesta categoria estão englobados os sinais de localização propriamente ditos e de limitação de pista e zonas críticas.

Os sinais de localização de pista possuem o fundo preto e uma inscrição amarela com a designação de pista e permitem complementar a informação dada pela bússola magnética da aeronave. Os sinais limite de pista são sinais de fundo amarelo e inscrição preta e fornecem informação suplementar ao piloto do limite da zona de saída de pista (exemplos na Figura I.10 do ANEXO I à direita)

b. Sinais de Direcção

Os sinais de direcção (Figura I.11 ANEXO I) apresentam-se com o fundo amarelo e inscrição preta. A inscrição designa o(s) corredor(es) de circulação através de uma letra e a seta que a acompanha indica a direcção a seguir. Estes sinais localizam-se normalmente à esquerda antes de uma intersecção. Quando usados para indicar a saída de uma pista, posicionam-se do mesmo lado da saída. Na presença de um sinal com mais do que uma designação, a leitura é feita no sentido horário a partir do corredor mais à esquerda.

c. Sinais de Destino

Os sinais de destino, à semelhança dos anteriores, também possuem fundo amarelo e inscrição preta, indicando a direcção a seguir para chegar a uma determinada localização do aeroporto. Pode ser usada uma abreviatura para indicar a localização de áreas de carga, áreas militares, plataformas de estacionamento, pistas, áreas internacionais, etc.

d. Sinais de Informação

Os sinais de informação (ANEXO I Figura I.10) podem servir para alertar o piloto de questões como frequências de rádio aplicáveis, procedimentos para redução do ruído ou mesmo as zonas que a torre de controlo não consegue visualizar. Cabe aos operadores do aeroporto determinar a necessidade, tamanho e localização destes sinais.

e. Sinais de Distância Remanescente

Os sinais de distância de remanescente de pista caracterizam-se por terem fundo preto e uma inscrição numérica a branco que indica a distância (em milhares de pés) restante para o fim da pista (Figura 2.17). O último sinal, de designação numérica "1" está localizado a pelo menos 950 pés (305 metros) a partir do final da pista.

Figura 2.17 – Sinal de distância remanescente de pista indicando que faltam 3 mil pés (915 m) para o fim da pista.

2.5.3 Sinalização Luminosa

Durante o dia quando a visibilidade é limitada e durante a noite, quando a informação visual perceptível é em grande parte reduzida, torna-se essencial facultar ajudas visuais significativas aos pilotos. A sinalização luminosa desempenha, a este nível, um papel muito importante (Horonjeff et al., 1994). Segundo as normas internacionais, devem estar instalados os seguintes sistemas de sinalização luminosa: luzes de aproximação; luzes de soleira de pista; luzes de limite de pista; luzes do eixo central de pista; luzes da zona de toque; luzes de fim de pista; luzes do eixo central; luzes do corredor de circulação; luzes de emergência e balizas aeronáuticas.

É de notar que, vários parâmetros têm influência sobre aquilo que o piloto consegue ver no solo. Um deles é o chamado "ângulo de corte do *cockpit*", formado pelo eixo longitudinal da fuselagem e um plano inclinado, abaixo do qual a visão do piloto é bloqueada por algumas partes da aeronave, e designado por α na Figura 2.18. Normalmente quanto maior é o ângulo α maior é a visão que o piloto tem do solo. O ângulo de afastamento da fuselagem com a horizontal β também exerce influência sobre a visibilidade durante a operação de aproximação à pista. O alcance visual (*visual range*, VR) ou distância máxima é aquilo que um piloto consegue visualizar a uma determinada altura h da pista. A esta medida corresponde um segmento horizontal de pista H que representa a porção de solo que o piloto efectivamente vê.

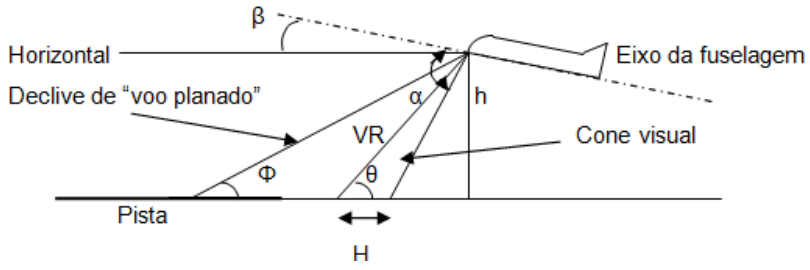


Figura 2.18 – Parâmetros visuais: Φ = declive de "voo planado"; α= "ângulo de corte do cockpit"; β= inclinação da fuselagem; VR = alcance visual; H= segmento horizontal de alcance visual; h = altura acima da pista do "voo planado"; θ = ângulo formado entre VR e a horizontal, [adaptado de (Ashford, et al., 1996)].

2.5.3.1 Luzes de Aproximação

Pela variabilidade que pode haver na inclinação de alcance visual, as luzes de aproximação à pista devem verificar requisitos fotométricos específicos, diferentes das luzes de soleira de pista ou do eixo central. Em geral a sua intensidade é muito mais elevada especialmente as luzes mais periféricas.

Segundo o "Anexo 14", o sistema de luzes de aproximação de pistas de CAT II e III deve obedecer à seguinte configuração (Figura 2.19):

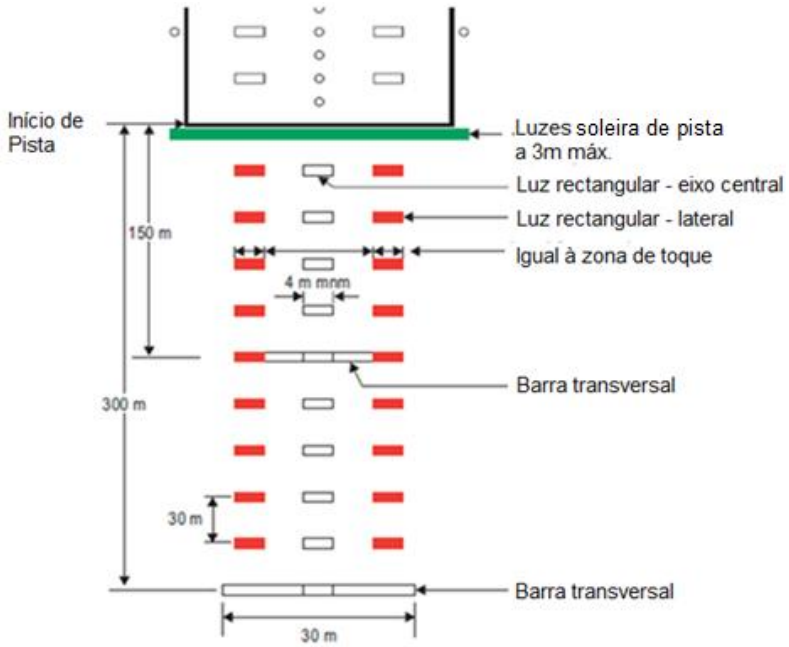


Figura 2.19 - Sistema de luzes de aproximação para pistas de instrumentos de precisão categorias II e III (ICAO, 2004).

2.5.3.2 Luzes de Soleira de Pista

Durante a fase final de aproximação à pista, os pilotos têm de decidir se completam o procedimento de aterragem ou executam uma "aproximação falhada". A identificação da soleira de pista é um factor de grande importância durante este procedimento. Por este motivo, a região mais próxima desta tem especial relevância em termos de iluminação. Em aeroportos de maior importância, a soleira é assinalada por uma linha completa de luzes verdes que acompanham toda a largura da pista.

2.5.3.3 Iluminação de Pista

Depois de cruzarem a soleira de pista, os pilotos tem de completar a aterragem e iniciar o rolamento. Nesta altura as ajudas visuais disponibilizadas devem dar aos pilotos informação sobre o alinhamento, o deslocamento lateral, a circulação e a distância de forma clara e fácil de interpretar (Horonjeff et al., 1994).

a. Luzes de Limite de Pista

As luzes que limitam a pista têm um espaçamento entre si, no máximo, de 60 metros e são brancas excepto nos últimos 600 metros ou último terço da pista, cuja cor é amarela, ou ainda, antes de uma soleira deslocada onde a sua cor é vermelha.

b. Luzes do Eixo Central de Pista e Zona de Toque

O sistema de luzes que compõe o eixo central tem cor variável. Entre a soleira de pista e os 900 metros finais, as luzes tem cor branca. Entre os 900 metros até 300 metros do fim, as luzes alternam entre o branco e o vermelho. A partir dos 300 metros finais, as luzes são vermelhas excepto se a pista tiver comprimento inferior a 1800 m, nesse caso entre o ponto médio da pista e os 300 metros finais haverá alternância entre luzes de cor vermelha e branca.

As luzes que assinalam a zona de toque devem estar instaladas desde a soleira da pista até 900 metros do fim desta, excepto em pistas com menos de 1800 metros. Na Figura 2.20 pode ver-se a sua disposição de acordo com as especificações recomendadas pela ICAO.

c. Luzes de Fim de Pista

Para pistas que dispõem de luzes de limite de pista, o seu fim deve estar iluminado com luzes dispostas em linha recta, perpendicularmente ao eixo central, uniformemente espaçadas entre si e relativamente ao eixo central. Segundo especificações da ICAO, devem ser unidireccionais (na direcção da pista) e de cor vermelha.

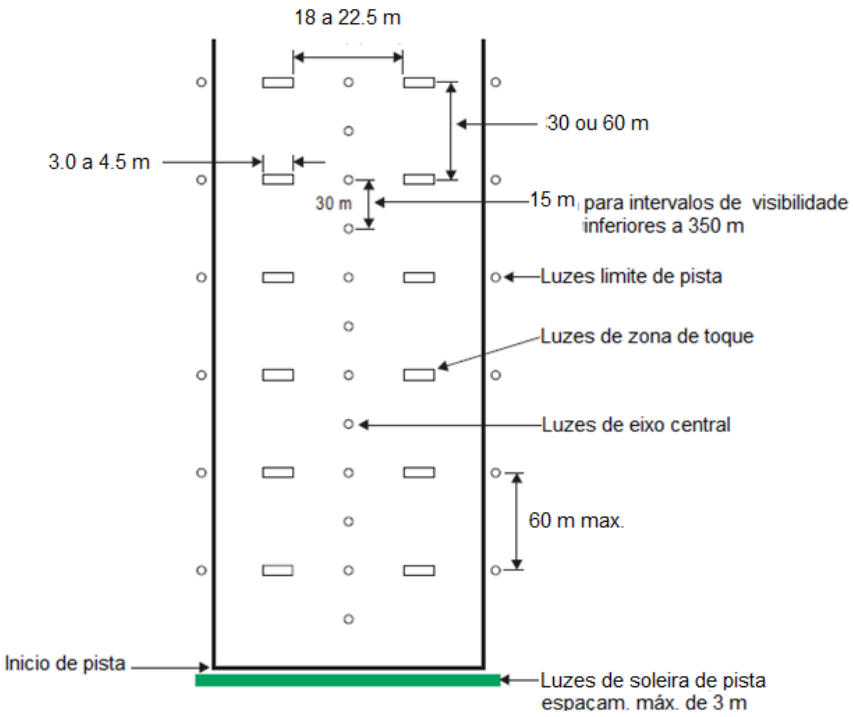


Figura 2.20 – Iluminação de pistas de instrumentos de precisão categoria II e III (ICAO, 2004).

2.5.3.4 Iluminação de Corredores de Circulação

Depois de uma aterragem ou antes de uma descolagem os pilotos têm de manobrar as aeronaves num sistema de corredores de circulação que pode tornar-se bastante complexo em aeroportos de grande dimensão ou com pouca visibilidade. Desta forma, é extremamente importante que haja ajuda visual adequada. Neste âmbito, os corredores de circulação devem distinguir-se claramente das pistas; as saídas das pistas devem ser rapidamente identificáveis; ao longo dos corredores de circulação devem ser disponibilizados guias visuais adequados; as intersecções devem estar claramente assinaladas e por fim, deve ser possível ver um corredor de circulação desde a plataforma de estacionamento até à pista.

Dois tipos de sistemas de iluminação são utilizados para caracterizar os corredores de circulação, correntemente chamados de *taxiways*: luzes de iluminação do eixo central e luzes de limite. As luzes do eixo central são azuis e as luzes que limitam os corredores são verdes. Pode ver-se um exemplo de configuração de um sistema de iluminação na Figura I.12 do ANEXO I.

2.5.4 Evolução do Estado de Conservação da Sinalização e Manutenção

Para além da observação dos pavimentos e das suas patologias é necessário ter em conta a evolução do estado de conservação da sinalização, atendendo ao facto da circulação do tráfego e das condições atmosféricas influenciarem o seu ciclo de vida útil.

Num aeroporto, a remarcação de pinturas no pavimento pode dar-se ao longo de todo o ano, consequência de alterações sofridas pelo pavimento ou mesmo devido a actualizações de layout no âmbito de normas/recomendações internacionais.

A necessidade de remarcação do pavimento por alteração da sua superfície prende-se, na maioria das vezes, com a acumulação de borracha ou com trabalhos de reparação no pavimento que coincidem com zonas pintadas.

O bom estado de conservação e de operação da sinalização luminosa também deve estar contemplado no programa de manutenção. A verificação das armaduras e restante sinalização posicionada no pavimento deve ser feita periodicamente e/ou sempre que se detecte uma anomalia, tendo em consideração o período de vida útil destes elementos. Sempre que necessário deve procede-se à limpeza das armaduras de modo a manter a sua superfície livre do depósito de partículas como é o caso da borracha.

A par da restante sinalização, deve ser verificada a conformidade da sinalização vertical no que diz respeito ao seu posicionamento e às suas características de reflectância, muito importantes no período nocturno e em condições de fraca visibilidade.

3. Observação de Pavimentos

3.1 Introdução

O conhecimento do estado de conservação da superfície do pavimento, da sua estrutura e respectiva fundação é um requisito fundamental para uma gestão eficaz dos pavimentos aeronáuticos. Só desta forma é possível traçar estratégias de conservação tendo por base a avaliação da segurança e conforto de circulação, a capacidade de carga, modelos de desempenho dos pavimentos e de análise económica.

A observação dos pavimentos deve ser feita ao longo da fase de exploração mas também nas fases de construção e reabilitação, para que haja um controlo de qualidade do trabalho efectuado. Desta forma é possível verificar a conformidade das características de um pavimento com o que está preconizado nos respectivos cadernos de encargos; fornecer dados para a melhoria das técnicas de construção e manutenção; programar acções de conservação; fornecer dados para modelos de previsão de comportamento dos pavimentos bem como aperfeiçoar métodos de dimensionamento.

O processo de avaliação da qualidade do pavimento num determinado instante compreende duas fases essenciais: a observação dos pavimentos, também designada por auscultação e o processamento dos dados obtidos, com vista à produção de informação a integrar posteriormente num sistema de gestão.

Sendo que a observação tem um papel preponderante nesta análise, é fundamental escolher os métodos e equipamentos adequados à obtenção dos vários parâmetros de caracterização do estado dos pavimentos. Após a recolha de dados segue-se o tratamento e análise dos mesmos com o objectivo final de obter uma classificação dos diferentes pavimentos segundo os critérios de avaliação da qualidade.

Globalmente avalia-se um pavimento sob duas perspectivas: funcional e estrutural. A avaliação funcional define a qualidade do pavimento no que diz respeito ao conforto e segurança de circulação. A avaliação estrutural prende-se com o nível de desempenho mecânico do pavimento, sob a acção do tráfego e das condições atmosféricas.

A distinção entre a condição estrutural e funcional de um pavimento é fundamental pois um pavimento pode revelar vários tipos de degradações superficiais e ainda assim possuir capacidade suficiente para suportar as cargas a que está sujeito, sendo que o contrário também se pode verificar. Pode acontecer que um pavimento que superficialmente não apresente patologias significativas possua no entanto alguma debilidade estrutural que não lhe permita resistir a todo o tipo de solicitações impostas (AC:150/5370-11A, 2004).

Em suma, uma correcta e atempada observação/avaliação dos pavimentos é primordial para alimentar a base de dados de um sistema de gestão sendo com o objectivo de implementar um método racional de gestão de toda a informação relevante relativa aos pavimentos. O SGP permitirá decidir sobre opções de investimento correctas, nos tempos certos e com base na relação benefício/custo tendo em vista as múltiplas necessidades que se apresentam quer ao nível do planeamento, projecto e obra, quer ao nível de exploração e manutenção dos pavimentos.

3.2 Indicadores de Desempenho e Parâmetros de Estado

Frequentemente na gestão dos pavimentos, quer sejam rodoviários ou aeronáuticos, são estabelecidos valores limites para os chamados “indicadores de desempenho” que definem qual o objectivo de qualidade a alcançar e a manter.

Ao parâmetro de medida que se utiliza para efectuar a avaliação de um indicador, dá-se o nome de parâmetro de estado, a partir do qual é possível caracterizar a qualidade estrutural e funcional do pavimento.

Os parâmetros de estado correntemente adoptados pelas administrações aeronáuticas para apoiar a classificação do estado dos pavimentos apresentam-se no Quadro 3.1.

Quadro 3.1 – Quadro geral de indicadores e parâmetros de estado.

Indicador de Desempenho	Parâmetro de Estado
Capacidade Estrutural	Deflexão
	Constituição dos Pavimentos
Regularidade	Regularidade Longitudinal (IRI)
	Regularidade Transversal (Rodeiras)
Estado Superficial	Degradações Observáveis à Superfície (Catálogo de Degradações)
Resistência ao Deslizamento	Coeficiente de Atrito
	Profundidade de Textura

Nos próximos subcapítulos será feita a descrição dos parâmetros de estado mencionados e da importância da sua caracterização para a avaliação estrutural e funcional dos pavimentos.

3.2.1 Degradações Observáveis à Superfície

O estado superficial dos pavimentos constitui um indicador preponderante no processo de análise da qualidade dos pavimentos. Desta forma, a inspecção visual dos pavimentos assume um papel importante na manutenção eficaz destas infraestruturas.

A observação dos pavimentos deve ser objectiva e completa, de modo a permitir uma identificação correcta das degradações existentes e apoiada por Catálogos de Degradações precisos, de modo a retirar alguma subjectividade inerente aos dados obtidos por observação visual.

Na escolha do(s) método(s) de inspecção visual a adoptar, devem ser ponderados os tipos de degradações a observar e a sua relevância, bem como as capacidades técnicas e financeiras mobilizáveis.

Existem vários tipos de degradações, de diferente relevância, associadas aos pavimentos aeronáuticos e na avaliação de cada um deles deve considerar-se a respectiva extensão (densidade) e gravidade.

Para além da observação das degradações, a inspecção visual abarca também todas as características do ambiente do pavimento que possam ter influência no seu estado: drenagem, assentamentos e outras incidências úteis para um correcto zonamento e definição das operações de reabilitação necessárias. Com efeito, deve ser dada especial atenção ao levantamento de características menos óbvias mas ainda assim fundamentais, como: (i) redes de infraestruturas de drenagem (caixas de visita, colectores e sumidouros), sinalização diurna (qualidade das superfícies pintadas) e sinalização luminosa (armaduras existentes); (ii) controlo de plantas daninhas nas fendas e juntas existentes; (iii) controlo do crescimento da vegetação ao longo do bordo dos pavimentos (tendo em conta a drenagem das águas pluviais); (iv) ameaças à segurança (desníveis de bordo excessivos, altos ou depressões, pontos de acumulação de água).

3.2.2 Textura Superficial

A textura da superfície de um pavimento é determinante para a sua qualidade funcional, no que diz respeito: ao desenvolvimento de forças de atrito no contacto pneu-pavimento em estado húmido e molhado (Larson et al., 2004); à resistência ao movimento (consumo de combustível) e ao desgaste dos pneus por micro-deslizamento da borracha no contacto pneu-pavimento (Domenichini et al., 2004); vibrações sentidas no interior dos veículos e ruído resultante da interacção pneu-pavimento (Branco et al., 2006).

Podem definir-se quatro categorias de singularidades para classificar a textura superficial dos pavimentos em função do seu comprimento onda e amplitude (Figura 3.1). A microtextura possui um comprimento de onda igual ou inferior a 0,5 mm, com amplitude entre 1µm e 0,2 mm; a macrotextura corresponde ao domínio de comprimento de onda compreendido entre 0,5 e 50 mm e amplitude vertical entre 0,1 e 20 mm; a megatextura possui comprimentos de onda entre 50 a 500 mm e amplitude vertical compreendida entre 0,1 e 50 mm e por fim define-se a irregularidade, com comprimento de onda superior a 500 mm.

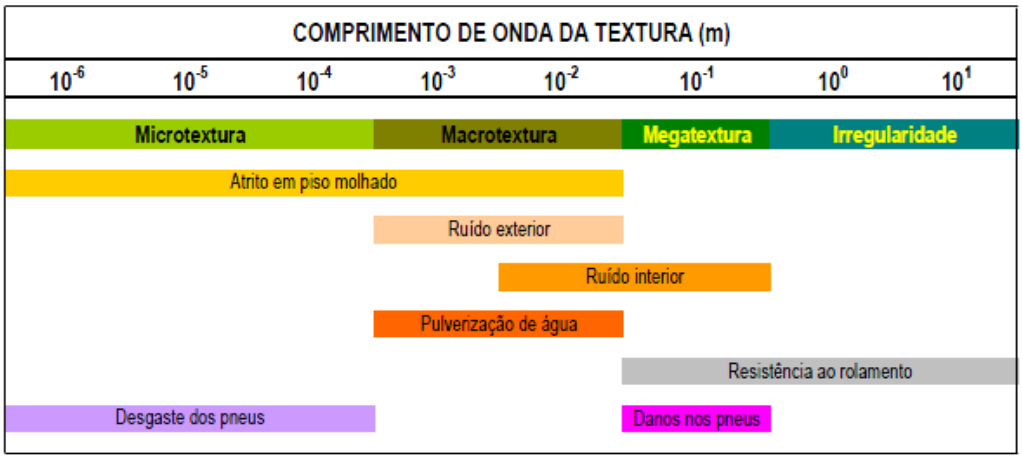


Figura 3.1 – Classificação das irregularidades de superfície de um pavimento e a sua influência no conforto e segurança de circulação (AIPCR/PIARC, 2003).

Diversos aspectos relevantes para a segurança são afectados pelas características superficiais do pavimento, nomeadamente pela textura (ver Figura 3.1).

O atrito (ou resistência à derrapagem) em piso seco a velocidades correntes e em piso molhado a baixa velocidade, é condicionado pela microtextura. O atrito a elevada velocidade, sob piso seco e molhado, e a pulverização e projecção de água, em piso molhado, são afectados pela macrotextura. A resistência ao rolamento é influenciada pela macrotextura e pela megatextura.

A microtextura é função principalmente da rugosidade dos agregados utilizados (ver Figura 3.2) e pode ser avaliada indirectamente através do coeficiente de atrito. Sendo mais significativa a baixas velocidades assume maior importância nas operações aeronáuticas de *táxi*.

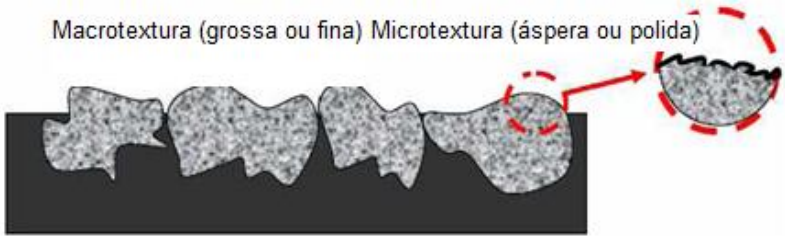


Figura 3.2 – Diferença entre micro e macrotextura (Merighi et al., 2006).

A macrotextura tem especialmente influência na drenagem activa da água da superfície dos pavimentos aeronáuticos, havendo por isso especial preocupação com a acumulação e depósito de borracha no pavimento. A manutenção de valores de macrotextura adequados reduz a tendência dos pneus das aeronaves experimentarem fenómenos de hidroplanagem durante as operações de descolagem e aterragem, atendendo às velocidades elevadas atingidas pelas aeronaves (ICAO, 2002). Ao contrário dos pavimentos rodoviários, onde a macrotextura é na maioria dos casos “fina” ou

"fechada" (Quadro 3.2), nos pavimentos aeronáuticos é "grosseira" ou "aberta", em virtude da diferença entre as características de drenagem dos pneus dos veículos e das aeronaves (Oliveira et al., 2009), devendo idealmente situar-se no intervalo 0,8 mm a 1,6 mm (Luís, 2009), (Specht et al., 2007). Valores de macrotextura menores ou iguais a 0,40 mm caracterizam um nível de manutenção imediata devido à possibilidade de existir um elevado risco de hidroplanagem em piso molhado (Oliveira et al., 2009).

Quadro 3.2 – Classificação da macrotextura quando obtida através do método da mancha de areia (ICAO, 2002).

Conceito	Profundidade Média (T)
Muito Fina ou Muito Fechada	T <0,20 mm
Fina ou Fechada	0,20 mm < T < 0,40 mm
Média	0,40 mm < T < 0,80 mm
Grosseira ou Aberta	0,80 mm < T < 1,20 mm
Muito Grosseira ou Muito Aberta	T> 1,20 mm

A megatextura não é uma característica intrínseca da superfície da camada de desgaste mas sim o resultado da evolução da degradação da superfície do pavimento (ninhos, deformações localizadas). As zonas de deformação no domínio da macrotextura podem provocar defeitos localizados nos pneumáticos e transmitir vibrações aos veículos, tratando-se ainda de potenciais zonas de estagnação de água, com consequências para a alteração das condições de aderência locais da camada de desgaste.

As irregularidades geométricas de comprimento de onda superiores a 0,5 m não são consideradas no domínio da textura do revestimento, mas por se tratar de indicadores relevantes na qualidade funcional dos pavimentos, são frequentemente avaliadas a regularidade longitudinal e transversal dos mesmos.

Em suma, atendendo às propriedades das várias singularidades referidas, pode dizer-se que a textura das superfícies dos pavimentos aeronáuticos é caracterizada essencialmente pelas micro e macrotextura. Estas componentes proporcionam característicos antiderrapantes à superfície dos pavimentos, sendo fundamentais para a composição do coeficiente de atrito e para a aderência pneu-pavimento (ICAO, 2002).

Uma vez que, a microtextura pode ser avaliada indirectamente através da medição em contínuo do coeficiente de atrito, a caracterização da textura da superfície de um pavimento, acaba por traduzir-se na medição da macrotextura. Para tal pode recorrer-se a ensaios de medição pontual (ensaio

volumétrico da Mancha de Areia) e/ou a ensaios de medição em contínuo (equipamentos laser MPD – *Mean Profile Depth* ou SMTD – *Sensor Measure Texture Depth*).

3.2.3 Regularidade Longitudinal e Transversal

Na perspectiva de avaliação da qualidade funcional de um pavimento, interessa analisar e quantificar a regularidade no sentido longitudinal e transversal uma vez que ambas se relacionam com questões de segurança e conforto de circulação.

A regularidade longitudinal pode ser quantificada através do desvio entre o perfil de projecto (perfil teórico) e o perfil resultante dos trabalhos de pavimentação. Ao somatório dos desnivelamentos da superfície do pavimento em relação ao perfil teórico dá-se o nome de irregularidade geométrica da superfície do pavimento.

Ao longo de um pavimento podem ser encontrados dois tipos de defeitos de regularidade: (i) irregularidade de elevado comprimento de onda e de reduzida frequência e (ii) irregularidade de reduzido comprimento de onda e elevada frequência. A irregularidade do tipo (i) provoca desconforto para os utentes, enquanto a irregularidade do tipo (ii) é responsável por oscilações e vibrações dos veículos, as quais, para além de aumentarem o desconforto, aumentam as cargas dinâmicas dos veículos pesados. No caso de um pavimento com elevada irregularidade longitudinal, a carga aplicada por eixo pode atingir duas ou mais vezes a carga estática (McNerney et al., 1995). Este conceito, para além de acelerar o ciclo de degradação do pavimento, também acelera o ciclo de fadiga das aeronaves, aumentando os seus custos de operação.

O Índice de Irregularidade Internacional IRI, estabelecido em 1982 durante uma pesquisa efectuada pelo *World Bank* (*United Kingdom, Transport and Road Research Laboratory)*, permitiu estabelecer uma medida padrão da irregularidade longitudinal da superfície dos pavimentos. Por se tratar de um parâmetro internacional, pode ser entendido em qualquer país já que o seu valor representa o mesmo grau de irregularidade independentemente do país de análise. Cada país, no entanto, estabelece internamente o seu limite de aceitabilidade, tendo em conta as exigências funcionais da infraestrutura e o nível de serviço requerido.

O IRI é medido a partir do perfil longitudinal e representa os deslocamentos acumulados da suspensão de um veículo tipo, simulados pelo modelo de “quarto de veículo” (Figura 3.3), divididos pela distância percorrida durante o ensaio, com unidades de medida m/km (Sayers et al.). Trata-se de um índice muito utilizado como indicador das condições de irregularidade longitudinal de pavimentos, já que exprime de forma muito satisfatória a irregularidade da superfície da via ao longo do alinhamento ensaiado, de forma a representar o impacto na resposta do veículo. Além disso, permite relacionar as características de irregularidade de um pavimento com os custos de manutenção da via, as condições de segurança e de conforto (Pereira et al., 1999[b]).

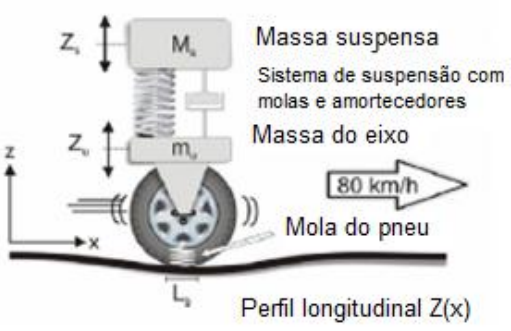


Figura 3.3 – Modelo "quarto de veículo" (adaptado de COST 354, 2007).

De forma a estabelecer valores de referência, foi produzida uma escala que relaciona o valor do IRI com a origem dos pavimentos, a velocidade do tráfego e as suas condições típicas (Sayers et al.). Como pode ver-se no Quadro V.1 do ANEXO V, as pistas aeronáuticas são das infraestruturas mais exigentes em termos de IRI sendo que lhes é exigido um IRI igual ou inferior a 2m/km (Junior, 2008).

Deficiências no perfil transversal de um pavimento podem afectar o conforto e a segurança de circulação, especialmente na presença de uma camada de desgaste molhada. Deste modo, deve quantificar-se a regularidade transversal através da medição da profundidade máxima das rodeiras, que também pode fornecer indicações sobre a qualidade estrutural do pavimento.

A avaliação da irregularidade dos pavimentos tem sido realizada com recurso a diferentes equipamentos, os quais utilizam diferentes metodologias de medição e princípios de medida, sendo de referir: (i) equipamentos baseados na resposta dinâmica de um veículo, (ii) equipamentos de referência geométrica simples, (iii) equipamentos baseados na obtenção de uma "imagem" do perfil do pavimento.

Face ao rendimento e fiabilidade obtida pelos três tipos de equipamentos mencionados, os dispositivos baseados na obtenção de uma "imagem" do perfil do pavimento, perfilómetros, têm sido os mais utilizados.

3.2.4 Atrito

As forças de atrito pneu-pavimento são de grande importância para as aeronaves, especialmente durante as operações de descolagem e aterragem. Em pistas curtas, onde a extensão disponível é próxima da distância operacional requerida, o atrito constitui o principal meio de paragem de uma aeronave após a interrupção de uma descolagem ou aterragem, uma vez que a reversão dos motores, muito embora contribua para a imobilização, é considerada apenas um complemento (Silva, 2007).

O atrito é um parâmetro que evolui ao longo do tempo em função de determinados factores, dos quais se destacam principalmente o desgaste mecânico e o polimento dos agregados; este último

provocado pela acção dos pneus das aeronaves (durante o seu rolamento e travagem) e pelo depósito de contaminantes em especial de borracha, que altera a textura da superfície do pavimento, podendo provocar a perda de capacidade de travagem e de controlo direccional de uma aeronave, sobretudo em pistas molhadas. O efeito destes dois factores vai depender directamente do volume e tipo de tráfego de aeronaves.

Além dos factores mencionados, outros aspectos condicionam a evolução do atrito, tais como: as condições climáticas locais; o tipo de pavimento e os materiais usados na sua construção; as práticas de manutenção levadas a cabo após a sua construção; a ocorrência de fenómenos de hidroplanagem provocados pela existência de rodeiras ou de uma drenagem do pavimento insuficiente; o aparecimento de descontinuidades devido ao fendilhamento; ou qualquer outro tipo de degradação que altere as propriedades da superfície.

O atrito pode ser avaliado através da medição de dois parâmetros: o coeficiente de atrito longitudinal (CAL) e o coeficiente de atrito transversal, (CAT). O primeiro avalia sobretudo a distância de paragem e é o mais relevante no caso das pistas aeronáuticas, o segundo interessa sobretudo à segurança de circulação em curva, tendo mais relevância nos pavimentos rodoviários.

Normalmente, o atrito é medido em piso molhado, tendo em conta que os níveis de resistência à derrapagem são menores do que em piso seco, já que a água actua como lubrificante entre o pneu e a superfície do pavimento, tornando mais difícil o controlo do veículo.

A medição do atrito é realizada utilizando equipamento específico sob condições padronizadas e pode obedecer a três métodos: (i) medição do atrito pontual, sem utilização de pneu; (ii) medição do atrito longitudinal em contínuo, com pneu bloqueado; (iii) medição do atrito transversal em contínuo, com pneu livre.

A medição do atrito longitudinal; apreciado através do coeficiente de atrito longitudinal (CAL), cujo foco de estudo é a aptidão dos pavimentos à travagem; é a que tem maior interesse no âmbito aeroportuário.

O atrito de um pavimento pode ser expresso em termos do seu coeficiente, que se define simplesmente como a razão entre a medida horizontal de travagem e a medida vertical das forças (cargas) que actuam sobre a roda de teste bloqueada de forma a simular uma percentagem de deslizamento pré-definida.

Nas últimas décadas, têm sido desenvolvidas várias metodologias e equipamentos que permitem obter medições em movimento (métodos dinâmicos) do atrito utilizando um dos cinco seguintes princípios: roda bloqueada (deslizamento 100%), deslizamento constante (10% - 20%), deslizamento variável (0% a 100%), ângulo de deslizamento constante (20 graus), carro equipado com ABS (Wallman et al., 2001).

Existem muitas variáveis que afectam a medição do coeficiente de atrito, variáveis relacionadas com a superfície do pavimento (como a macrotextura, microtextura, tipo e grau de contaminação da superfície do pavimento, factores ambientais) e com as propriedades do próprio ensaio (composição e dureza da borracha, grau de desgaste e pressão do pneu, carga vertical na roda, velocidade de ensaio, percentagem de deslizamento pneu-pavimento).

Controlar todas estas variáveis obedecendo a um padrão (norma) pode revelar-se crítico na obtenção de resultados fiáveis e consistentes.

Na tentativa de harmonizar os parâmetros de caracterização dos pavimentos, a "*Permanent International Association of Road Congresses"* – PIARC, Associação Internacional Permanente de Congressos Rodoviários – AIPCR promoveu estudos no sentido de desenvolver um Índice Internacional de Atrito (IFI), que contempla a medição do coeficiente de atrito medido a uma velocidade de referência de 60 km/h (FR60) e um parâmetro (Sp) relacionado com a textura, tendo por base o modelo da Figura 3.4.

Desta forma, considera-se inicialmente um valor do coeficiente de atrito do pavimento, FRS, obtido com um determinado equipamento, a uma velocidade de ensaio, S, e um valor da textura, Tx. Com estes dados, através das Equações [3.1] e [3.2] corrige-se o valor de FRS em função da velocidade (S) e do parâmetro relacionado com a textura (Sp), determinando FR60 (velocidade de referência de 60 km/h (Wambold et al., 1995).

$$FR60 = FRS \times e^{(S-60)/Sp} \qquad \textbf{[3.1]}$$

Com

$$Sp = a + b \times T\boldsymbol{x} \qquad \textbf{[3.2]}$$

Onde a e b são parâmetros específicos do equipamento de medição da macrotextura e Tx a macrotextura medida com equipamento específico.

Após o cálculo dos valores da textura Tx e do coeficiente de atrito corrigido FR60, determina-se o IFI (F60) através da Equação [3.3]:

$$IFI = F60 = A + B \times FR60 + C \times T\boldsymbol{x} \qquad \textbf{[3.3]}$$

A, B e C são parâmetros específicos de cada equipamento. O parâmetro C é considerado igual a zero para os equipamentos que utilizam um pneu de ensaio liso.

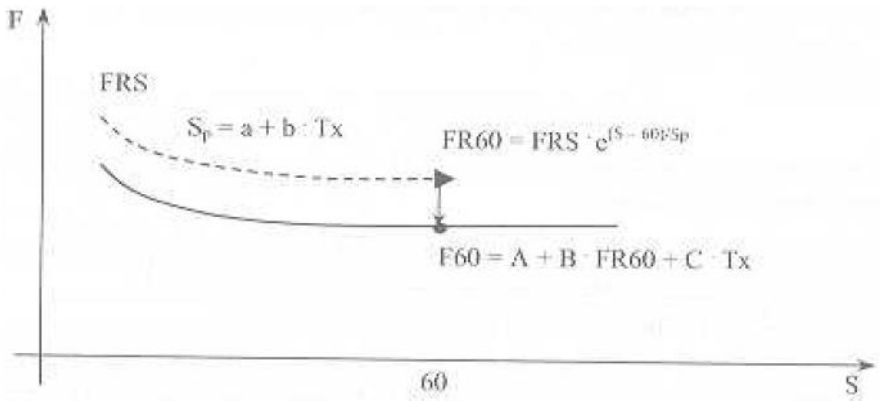


Figura 3.4 – Determinação do IFI (AIPCR/PIARC, 2003).

Um dos equipamentos mais usados em Portugal na medição do atrito em contínuo é o Grip-Tester, que mede a resistência à derrapagem em piso molhado, através de um reboque tracionado a velocidade constante. Internacionalmente, para além do Grip-Tester, são utilizados outros equipamentos, cuja designação pode ver-se no Quadro 3.3.

Na avaliação dos resultados provenientes da medição do atrito, definem-se três níveis: (i) Superfície Nova (*Design Objective Level* – DOL), (ii) Nível de Manutenção (*Maintenance Planning Level* – MPL) e Nível de Atrito Mínimo (*Minimum Frition Level* – MFL). O Quadro 3.3 detalha, segundo os padrões definidos pela ICAO, os níveis de atrito condicionantes medidos através de vários equipamentos utilizados internacionalmente.

Mediante os resultados obtidos nas medições, várias acções podem ser efectuadas:

- se o coeficiente de atrito estiver abaixo do nível MPL, deverá proceder-se à manutenção da pista de forma a restituir o atrito ao nível DOL ou superior;
- se o nível de atrito indicar uma tendência de queda, deve aumentar-se a frequência das observações a fim de evitar o aparecimento rápido de outras degradações e se for caso disso devem ser tomadas medidas de reparação;
- se o nível de atrito estiver abaixo de MFL, deve ser levada a cabo a manutenção urgente do pavimento de forma a restaurar o coeficiente de atrito adequado e emitir um aviso de piso escorregadio em condições de pista molhada;
- se se verificar que uma pista tem um nível de atrito significativamente inferior a MFL, esta deve ser interditada a operações de aterragem e descolagem enquanto o piso estiver molhado.

Inspecções periódicas de medição do atrito devem ser levadas a cabo em aeródromos que tenham um tráfego significativo de aeronaves a jacto, no mínimo uma vez por ano. Dependendo do volume e tipo (peso) de tráfego pode ser necessário efectuar inspecções mais frequentes.

Segundo as normas *Advisory Circular AC 150/5320-12C* (FAA) *e Airport Services Manual – Part 2* (ICAO) no agendamento das inspecções de medição do atrito devem ser tidos em conta o tipo de aeronaves e número de aterragens diárias por pista.

No Quadro 3.4 encontra-se descrita a frequência mínima de avaliação do atrito, para cada pista individualmente, em função do número de movimentos de aterragem de aeronaves de médio e grande porte.

As medições do atrito do pavimento requerem tempo e o encerramento da pista onde são realizadas. Desta forma, deve procurar-se efectuar os ensaios no período de menor perturbação do tráfego.

Quadro 3.3 – Níveis de atrito condicionantes para a superfície de pistas aeronáuticas (ICAO, 2004).

Tipo de Equipamento	Pneu de Teste / Pressão (Kpa)	Velocidade de ensaio (Km/h)	Espessura de Água (mm)	Superfície Nova (DOL)	Nível de Manutenção (MPL)	Nível de Atrito Mínimo (MFL)
MU-Meter	70	65	1	0,72	0,52	0,42
	70	95	1	0,66	0,38	0,26
Skiddometer	210	65	1	0,82	0,6	0,5
	210	95	1	0,74	0,47	0,34
Surface Friction Tester Vehicle	210	65	1	0,82	0,6	0,5
	210	95	1	0,74	0,47	0,34
Runway Friction Tester Vehicle	210	65	1	0,82	0,6	0,5
	210	95	1	0,74	0,54	0,41
Tatra Friction Tester Vehicle	210	65	1	0,76	0,57	0,48
	210	95	1	0,67	0,52	0,42
Runar	210	65	1	0,69	0,52	0,45
	210	95	1	0,63	0,42	0,32
Grip Tester	140	65	1	0,74	0,53	0,43
	140	95	1	0,64	0,36	0,24

Na existência de relatórios sobre a possível falta de aderência detectada por pilotos durante a travagem, sinais evidentes de desgaste da superfície do pavimento, ou de outro pormenor relevante, devem ser levadas a cabo medições do atrito.

Quadro 3.4 – Frequência de avaliação do atrito (AC:150/5320-12C, 1997)

Nº de Aterragens diárias de aeronaves a jacto por Pista	Frequência mínima de avaliação do atrito
Menor que 15	1 Ano
[16 a 30]	6 Meses
[31 a 90]	3 Meses
[91 a 150]	1 Mês
[151 a 210]	2 Semanas
Maior que 210	1 Semana

3.2.5 Capacidade Estrutural

A avaliação estrutural dos pavimentos permite obter informação sobre a sua capacidade para suportar determinado tipo e volume de tráfego e dependerá do tipo e espessura das camadas constituintes bem como da natureza dos materiais que as compõem e o estado ou colocação em obra.

Para conhecer a capacidade estrutural de um pavimento é necessário realizar procedimentos que determinem a resposta da estrutura quando sujeita às cargas de tráfego em determinados pontos; traduzidas sob a forma de tensões, deformações e deflexões; de modo a averiguar a sua capacidade de resistência aos mecanismos responsáveis pela seu processo de degradação. A partir do diagnóstico obtido, torna-se possível definir o conjunto de acções necessárias para o restabelecimento das condições admissíveis aos utilizadores da infraestrutura.

Existem dois métodos de avaliação estrutural de pavimentos: ensaios destrutivos e ensaios não-destrutivos (Haas et al., 1994). Nos ensaios destrutivos são removidas amostras das camadas do pavimento, através de sondagens à rotação e/ou poços, para determinação em laboratório das suas características *in situ* (espessura, condição dos materiais, eventuais deformações, tipos de materiais, condições de humidade). As principais desvantagens são a dificuldade de reprodução do estado de tensões e condições ambientais, o tempo requerido para a execução dos ensaios, o condicionamento do tráfego, os custos de reconstrução do pavimento (após os ensaios) e os custos para os utilizadores. Os ensaios não-destrutivos possibilitam a avaliação do pavimento sem danificá-lo, o que faz com que sejam largamente utilizados não só em centenas de pavimentos aeronáuticos espalhados um pouco por todo o mundo como também, em ambiente rodoviário permitindo testar a capacidade de carga das estradas face aos valores preconizados em projecto e às solicitações ao longo da sua vida útil.

Os avanços mais recentes, no que respeita a hardware, software, e análise de dados, demonstram que os equipamentos de ensaios não destrutivos apresentam inúmeras vantagens face aos métodos destrutivos tradicionais, a destacar: a precisão dos dados registados, o aumento da produtividade em termos de número de ensaios por dia de trabalho, a simulação mais real das condições de tráfego, a redução dos custos dos ensaios, a obtenção mais simples dos dados de análise estrutural dos pavimentos, referenciação automática dos dados e a possibilidade de integração dos dados obtidos num sistema de gestão de pavimentos.

A avaliação da capacidade estrutural de um pavimento aeroportuário deve ser cuidadosamente planeada. Nesse planeamento deve ser contemplado o tipo de equipamento a utilizar (já que existem vários que medem a mesma variável), deve ser tido em conta o custo total que envolve a "produção diária", o número de profissionais envolvidos na operação e a sua experiência em processos idênticos.

A tomada de decisões viáveis, confiáveis e económicas dependem de uma avaliação fundamentada em conceitos bem aplicados.

As técnicas de medição de deflexões são largamente utilizadas nas avaliações estruturais não-destrutivas de pavimentos (Haas et al., 1994). Para tal são realizados ensaios de carga que se podem separar em dois grupos principais consoante o modo como as cargas são aplicadas: carga rolante e carga pontual.

A carga rolante diz respeito a equipamentos em que a carga é induzida pela passagem de um veículo pesado, sendo a medição das deflexões, usualmente efectuada num determinado ponto. O Curviâmetro é um equipamento de carga rolante que permite medir a capacidade de carga estrutural de vários tipos de infraestruturas, entre as quais pavimentos aeronáuticos.

A carga pontual é relativa a equipamentos cuja carga é aplicada num dado ponto da superfície do pavimento, quer seja de forma dinâmica ou estática. O Deflectómetro de Impacto (Pesado e Super Pesado) é comummente utilizado em infraestruturas aeronáuticas.

Com a finalidade de avaliar estruturalmente os pavimentos a partir do conhecimento da sua constituição foram desenvolvidos equipamentos alternativos aos métodos destrutivos. O Radar de Prospecção (GPR – *Ground Penetration Radar*) permite a execução de ensaios em contínuo com reconhecimento da estrutura do pavimento por emissão de ondas electromagnéticas. Desta forma obtêm-se um conhecimento mais representativo do pavimento, sem as desvantagens dos métodos tradicionais destrutivos.

3.3 Técnicas e Equipamentos de Medição dos Parâmetros de Estado

3.3.1 Inspecção Visual Directa

A observação visual das degradações realiza-se com um técnico percorrendo o pavimento, a pé ou a bordo de um veículo, por unidades de análise e transcrevendo, para suporte de papel ou informático, o estado de degradação do pavimento, entre outras características (estado de conservação dos sistemas de drenagem, sinalização, etc.) (Pereira et al., 1999[a]).

Ao percorrer o pavimento, após a observação de uma unidade de análise o operador assinala para cada tipo de degradação, a sua existência, ou não, e o respectivo nível de gravidade (em geral adoptam-se três níveis: baixo; médio; alto). Com base nos valores registados é possível obter a densidade superficial de cada tipo de degradação (extensão relativa da área afectada, expressa em percentagem).

A quantificação das degradações nas várias unidades de análise permitirá determinar o Índice de Condição do Pavimento – PCI de cada uma delas e da secção correspondente, frequentemente utilizado na avaliação da qualidade global dos pavimentos aeronáuticos, como medida da performance funcional com implicações na performance estrutural (AC:150/5380-7A, 2006).

Na observação visual das degradações feita com recurso a sistemas informáticos, podem utilizar-se sistemas idênticos ao *VIZIROAD* (ver Figura 3.5). Originalmente desenvolvido para as estradas, este é um sistema de aquisição de dados, que dispõe de uma interface informática constituída por dois teclados complementares, onde cada tecla, através de configuração informática específica, pode ser associada a um determinado tipo e gravidade de degradação.

Este equipamento é instalado num veículo ligeiro, que ao deslocar-se pelo pavimento, permite que o operador vá premindo as teclas correspondentes à informação que vai observando. Cada dado é referenciado através da distância em relação ao início do ensaio (por meio de um medidor de distâncias que se encontra ligado ao micro-computador).

Figura 3.5 – Equipamento VIZIROAD.

O software, para além do reconhecimento das introduções efectuadas, trata da informação tendo em vista a sua aplicação a jusante, nomeadamente, a sua introdução em bases de dados (Santos et al., 2006).

Sendo que este tipo de equipamento é configurável, existe a possibilidade de adaptar o software ao tipo de informação que se quer observar, tendo em atenção o tipo de patologias esperadas em ambiente aeroportuário.

O principal inconveniente das metodologias de observação visual é a subjectividade inerente à avaliação humana. As mesmas degradações podem ser observadas de modo diferente em função do observador e o mesmo observador pode obter resultados diferentes para a mesma degradação, em função das condições atmosféricas, ou da hora do dia.

O rendimento atingido com as técnicas de observação é outro inconveniente importante. A experiência do observador tem bastante influência no número de km percorridos por dia e na quantidade de degradações observadas, tendo em conta as respectivas densidades e o rigor pretendido com a observação.

Para eliminar grande parte da subjectividade inerente a estes métodos, é essencial dispor de um documento de referência; que contenha para cada tipo de pavimento e tipo de degradação, a respectiva descrição, níveis de gravidade (com exemplos fotográficos associados) e modo de medição aplicável; como os Catálogos de Degradações. Estes são uma peça fundamental para a observação visual independentemente do suporte utilizado. Além de reduzirem a subjectividade da observação, aumentam o seu rendimento, através da diminuição do tempo de decisão quanto à classificação de determinada degradação.

3.3.2 Observação Visual através de Equipamentos de Vídeo

Nos últimos anos têm-se recorrido a métodos automáticos de registo de vídeo para realizar inspecções visuais. Com efeito, têm sido utilizados veículos equipados com câmaras de vídeo, na aquisição cinemática de informação georreferenciada sobre o estado superficial do pavimento. Desenvolvidos especificamente para a realização de trabalhos de levantamento dinâmico contínuo de infraestruturas de transporte (rodoviário e aeroportuário), estes equipamentos permitem varrer as redes de pavimentos a velocidades que variam entre os 10 e 60 km/h.

Figura 3.6 – Veículo ligeiro com sistema de vídeo instalado para captação de imagens do pavimento.

O levantamento dinâmico consiste num processo de aquisição e armazenamento de imagens georreferenciadas com correcção diferencial em tempo real, num sistema instalado a bordo do veículo. Posteriormente, em gabinete, as imagens são processadas e integradas na base de dados de um sistema de informação e gestão.

O sistema a bordo do veículo que permite efectuar os levantamentos é constituído por um conjunto de subsistemas de hardware e software dos quais fazem parte os seguintes elementos:

- sistema de aquisição de imagens – conjunto de 5 câmaras ou câmara 360º graus;
- sistema de armazenamento em tempo real DVR (*Digital Video Recorder*);
- sistema de navegação e orientação (GPS);
- sistema inercial de movimento;
- sistema de iluminação para levantamentos nocturnos ou de reduzida visibilidade;
- sistemas de controlo e alimentação.

Na captação de imagens através do uso do vídeo há que ter especial atenção ao sistema de iluminação, que deve reduzir a influência da luz ambiente e normalizar as condições envolventes de observação do pavimento. Não só a iluminação mas também a resolução do equipamento, a textura e cor da superfície são, por exemplo, factores determinantes na detecção da largura mínima de uma fenda.

Esta metodologia tem como principal vantagem reduzir os custos de operação e de proporcionar uma referenciação mais fiável e eficiente. As imagens registadas e referenciadas à localização e extensão da infraestrutura, são posteriormente observadas e tratadas em gabinete, para classificação e quantificação do estado de degradação do pavimento. Sempre que haja necessidade de observar o pavimento, é possível fazê-lo sem repetição do trabalho de campo, o que contribui para a redução da subjectividade e para o melhoramento da reprodutibilidade do processo de observação. Outra vantagem importante a jusante prende-se com a possibilidade integração das imagens num SIG, com vista à exibição gráfica de mapas de qualidade da rede de pavimentos.

Equipamentos alternativos com recurso a tecnologia laser têm vindo a ser explorados e desenvolvidos para a detecção de degradações, com vista ao aumento do rendimento e fiabilidade de observação. Através da medição de distâncias a partir do plano de referência do equipamento, com o

máximo número de pontos (sensores laser) e reduzido espaçamento (para melhor precisão de leitura), tentam criar uma imagem tridimensional do pavimento. Ainda com algumas limitações, esta técnica tem sido mais utilizada na detecção de fendas.

3.3.3 Ensaio da Mancha de Areia

O ensaio da mancha de areia tem por objectivo a caracterização pontual da macrotextura superficial de um pavimento, determinada através dos desvios entre a superfície de um pavimento e uma superfície plana de referência.

O ensaio, realizado segundo a norma europeia EN 13036 – 1: 2001, consiste no espalhamento de um volume conhecido de material (esferas de vidro de dimensão normalizada[3]) sobre a superfície do pavimento em forma circular. Devem ser efectuados pelo menos quatro ensaios espaçados ao acaso na secção do pavimento em estudo.

O diâmetro do círculo, constituído pelo material espalhado na superfície de teste, é determinado com régua e fazendo a média de três ou quatro diâmetros na mesma mancha, sendo que a área obtida não é um círculo perfeito (Figura 3.7). Calculando a média dos valores obtidos nos ensaios, é possível determinar a profundidade média de textura (material espalhado) MTD, com aproximação de 0,05 mm, através da Equação [3.4].

$$MTD = V \div (\pi \times R^2) \qquad \textbf{[3.4]}$$

Onde:

MTD – *Mean Texture Depth,* Profundidade Média de Textura (mm);
V – Volume de material espalhado (mm^3);
R – Raio médio do círculo obtido com o espalhamento do material (mm).

O resultado do ensaio de uma determinada zona do pavimento é o valor médio dos pontos ensaiados.

O ensaio da mancha de areia não fornece uma indicação directa do atrito pneu-pavimento mas representa um bom indicador do seu potencial valor, em particular, em zonas de velocidade elevada de circulação, uma vez que constitui uma medida directa da megatextura da superfície da camada de desgaste do pavimento.

[3] O ensaio da mancha de areia era realizado anteriormente com areia de granulometria obtida por passagem em peneiros normalizados, no entanto, com vista à obtenção de um resultado mais preciso, passou a utilizar-se pequenas esferas de vidro normalizadas.

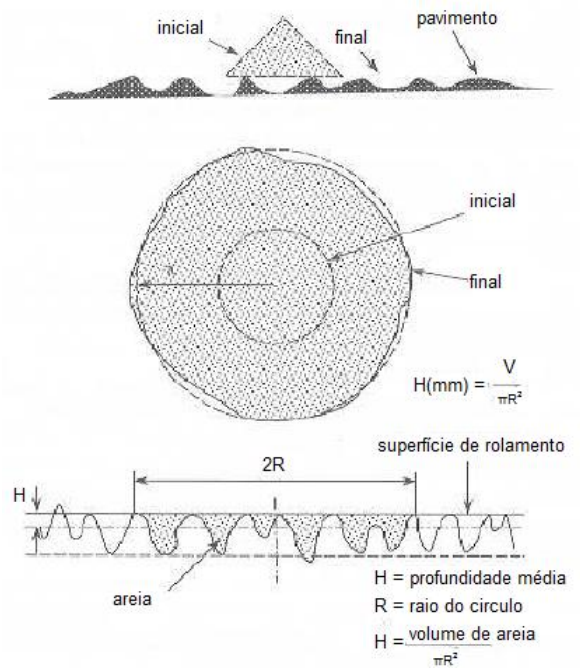


Figura 3.7 – Ensaio da mancha de areia (Branco et al., 2006).

3.3.4 Perfilómetro Laser

Nas últimas décadas têm sido desenvolvidos diversos tipos de equipamentos que efectuam o levantamento do perfil longitudinal e transversal do pavimento através de sensores que não contactam directamente com a sua superfície, do tipo laser ou ultra-sons. O perfilómetro laser tem sido muito utilizado na medição da profundidade de textura e no levantamento das irregularidades da superfície do pavimento.

Este dispositivo consiste numa viga de alumínio instalada na parte dianteira ou traseira de um veículo automóvel equipada com lasers que efectuam o levantamento do perfil da superfície do pavimento ao longo de alinhamentos paralelos no sentido de deslocação do veículo. Para além de sensores laser, o veículo automóvel está equipado com um sistema de medição de distâncias, de posicionamento GPS ou DGPS, acelerómetros e um computador de aquisição de dados (ARRB, 2010).

O sistema de medição do deslocamento do veículo é composto por um sensor que se encontra acoplado a uma das rodas do veículo. Os acelerómetros são utilizados para medir a aceleração vertical do veículo e consequentemente determinar os movimentos verticais do veículo, para que os resultados obtidos possam ser calibrados tendo em conta este factor (Figura 3.8)

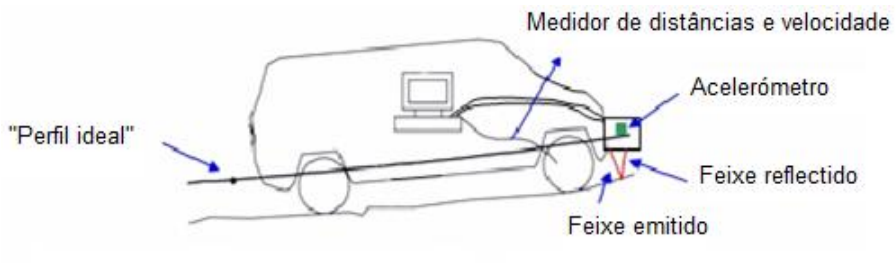


Figura 3.8 – Esquema tipo de um perfilómetro laser (LNEC, 2008[a]).

3.3.4.1 Medição da Textura

A medição da textura superficial pode ser realizada em contínuo com perfilómetro laser para a obtenção do parâmetro MPD – *Mean Profile Depth* e deve cumprir o procedimento estabelecido na norma ISO EN 13473 – 1: 2005.

O equipamento capaz de registar a macrotextura em contínuo e a velocidade constante, dispõe de lasers de alta precisão e frequência (62,5 kHz), que no essencial conseguem medir distâncias relativamente à superfície do pavimento. Utilizando o princípio da triangulação, os raios laser são emitidos perpendicularmente à superfície do pavimento e reflectidos por elementos angulares. A luz reflectida é recebida por um detector de posição e o output é um sinal digital correspondente ao perfil da textura. Os ensaios são realizados a uma velocidade constante (aproximadamente 60 km/h), em alinhamentos paralelos, coincidentes com as rodeiras.

As medições não devem ser feitas com chuva, vento ou com a superfície do pavimento molhada, de modo a não por em causa a fiabilidade dos resultados. Também é aconselhável que a temperatura do ar não seja inferior a 5 ºC.

Segundo a norma ISO EN 1347 – 1 podem estabelecer-se correlações entre o valor medido MPD e o valor obtido no ensaio volumétrico da mancha de areia MTD (*Mean Texture Depth*), através do cálculo da Profundidade de Textura Superficial ETD *(Estimated Texture Depth),* pela Equação [3.5]:

$$ETD = 0{,}2 + 0{,}8 \times MPD \text{ (mm)} \qquad \textbf{[3.5]}$$

3.3.4.2 Medição da Regularidade Longitudinal e Transversal

O perfilómetro laser é capaz de medir os desvios altimétricos da superfície do pavimento em relação a um perfil ideal (com precisão concordante com a norma ASTM E950). Com base nesse perfil longitudinal podem calcular-se diversos indicadores da regularidade superficial do pavimento, como

por exemplo o *International Roughness Index* – IRI, especificado na norma europeia EN 13036 – 5: 2006.

O perfilómetro laser também pode ser utilizado para determinação do perfil transversal de um pavimento, tendo em conta o mesmo princípio de medida aplicado na medição do perfil longitudinal. No entanto, é necessário dispor de um maior número de sensores na viga de alumínio transversal do equipamento, num mínimo total de 5 sensores, localizados de modo que dois deles se situem em cada extremo da viga, outros dois no alinhamento dos rodados e o último numa posição intermédia na viga. A norma EN 13036 – 8: 2008 descreve a metodologia a seguir para a medição da regularidade transversal (cavado de rodeiras).

Quanto mais sensores forem utilizados, maior será a precisão de medição da profundidade da rodeira (Figura 3.9) que, em último caso, pode ser determinada, com mais precisão mas menos rendimento, com recurso a régua.

Figura 3.9 – Profundidade de rodeira (COST, 2007).

Preferencialmente a operação do equipamento deve ser feita em período diurno, no entanto nos aeroportos este é o período de maior tráfego. A fim de evitar o fecho de pistas nas horas de maior fluxo, existem equipamentos que dispõem de ferramentas de orientação automática que possibilitam o alinhamento do equipamento nas pistas e caminhos de circulação durante a noite mas também durante o dia (Figura 3.10).

Figura 3.10 – Perfilómetro e sistema de orientação (imagem de Grontmij | Carl Bro).

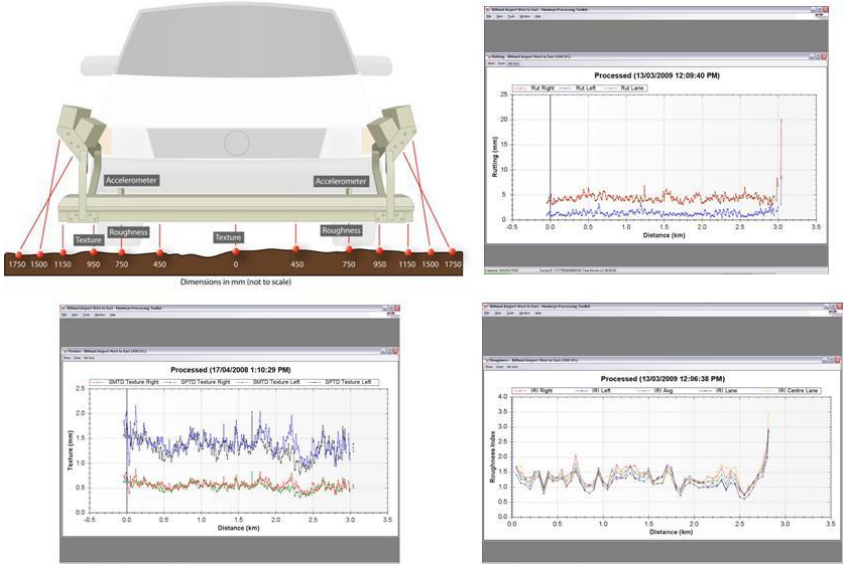


Figura 3.11 – Exemplos dados recolhidos pelo perfilómetro laser e respectivos gráficos (imagem de Grontmij | Carl Bro).

3.3.5 Veículos Multifunções

Os veículos multifunções permitem a observação de determinados parâmetros num pavimento em simultâneo, através da integração de diversas tecnologias (Figura 3.12). A sua principal vantagem é a possibilidade de realizar diversos tipos de ensaios de uma forma mais rápida e económica, com a possibilidade de determinar diferentes parâmetros.

Existem vários veículos multifunções no mercado, sendo que a maior parte deles apresenta características semelhantes em termos de funcionalidades e equipamentos. Na sua maioria estes veículos incorporam os seguintes sistemas:

- sistema de vídeo de recolha de imagens do pavimento, de modo a permitir a detecção automática ou não de degradações, em especial o fendilhamento;
- sistema de medição de distâncias independente da velocidade de ensaio;
- sistema de determinação das características geométricas da infraestrutura, como por exemplo, as inclinações, raios de curvatura, utilizando para o efeito giroscópios;
- sistema global de posicionamento (GPS ou DGPS);
- sistema de determinação de perfil longitudinal a partir de tecnologia laser (determinação em tempo real de índices de irregularidade, com por exemplo o IRI);
- sistema de determinação de irregularidade transversal (profundidade de rodeiras) através de sensores laser;
- sistema de determinação da macrotextura do pavimento utilizando lasers de elevada frequência;
- software de aquisição e leitura dos dados.

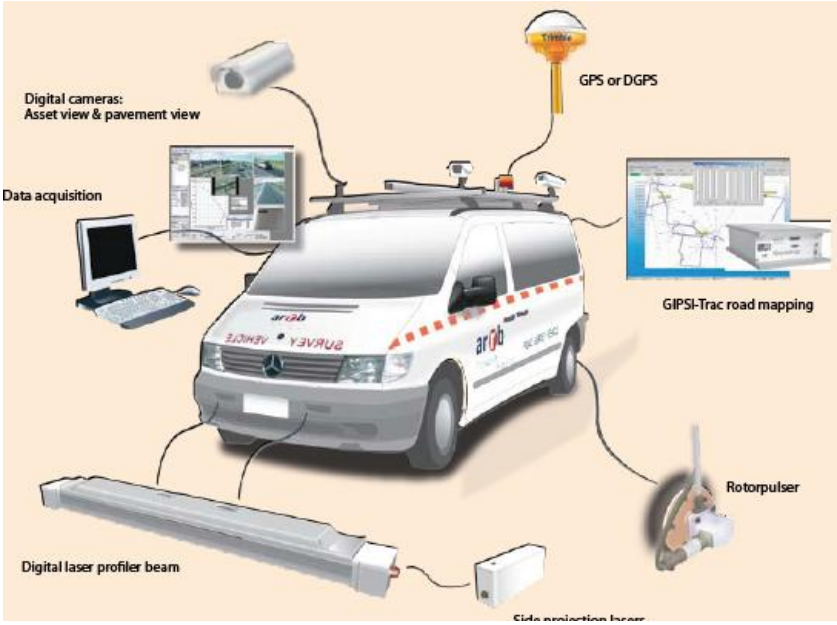


Figura 3.12 – Veículo multifunção hawkeye 2000 da *Australian Road Research Board* (ARRB, 2010).

3.3.6 Grip Tester

O Grip Tester (Figura 3.13) é um equipamento usado para medir o atrito longitudinal em contínuo de pavimentos aeronáuticos e rodoviários, cujo ensaio e metodologia são reconhecidos internacionalmente e aprovados pela ICAO e pela PIARC/ AIPCR.

O seu funcionamento obedece ao princípio de roda parcialmente bloqueada (15%), com medição a cada 10 metros das forças verticais e horizontais exercidas no pneu. O aparelho é rebocado por um veículo que dispõe de um depósito com capacidade de 400 a 500 litros de água e um dispositivo que controla a saída desta. A água é proporcionalmente lançada sobre a roda de teste à velocidade de levantamento, de modo a garantir uma espessura igual a 1 mm.

Figura 3.13 – Grip Tester (LNEC, 2008[b]) à esquerda, mecanismo do Grip Tester (GripTester., 2006) à direita.

A borracha do pneu da roda teste é padronizada segundo normas internacionais (ASTM) e a forças vertical e horizontal são medidas continuamente por tensímetros ("*strain gages*"). Os valores médios são calculados e exibidos no computador de bordo a cada dez metros do levantamento, juntamente com os valores médios da velocidade desenvolvida pelo veículo rebocador do equipamento.

O coeficiente de atrito, resultante da natureza de cada uma das superfícies em contacto e da força normal actuante, é calculado a partir do Grip Number (GN), de acordo com a Equação 3.6, correspondendo à média de leituras do atrito instantâneo no comprimento de teste.

$$GN = Fv/Fh, \qquad \textbf{[3.6]}$$

Onde:
GN = Grip Number (Coeficiente de atrito – Número Adimensional);
Fv = Força Vertical (Kgf);
Fh = Força Horizontal (Kgf).

O Grip Number apresenta valores compreendidos entre 0 e 1,2, associados à velocidade de ensaio [BS 7941-2: 2000].

Como forma de padronizar os resultados do ensaio, à luz do Índice Internacional de Atrito – IFI, foi estabelecida a seguinte Equação [3.7].

$$IFI = F60 = 0{,}0821 + 0{,}9104 \times GN \times e^{[(0{,}15S-60/Sp]}, \qquad \textbf{[3.7]}$$

Em que:
GN – Grip Number;
S – velocidade de ensaio;
Sp – constante da velocidade de referência;
F60 – valor do atrito à velocidade de 60 km/h.

3.3.7 Deflectómetro de Impacto Super Pesado – SHFWD

O Deflectómetro de Impacto (*Falling Weight Deflectometer* – FWD), em diferentes versões, é um equipamento destinado a avaliar a capacidade estrutural de um pavimento através da medição da sua resposta a uma carga vertical de impacto (ver Figura 3.14). Este equipamento permite a realização de ensaios não-destrutivos simulando as acções induzidas pela passagem dos veículos e mede a resposta do pavimento daí resultante através de deflexões (Antunes, 1993).

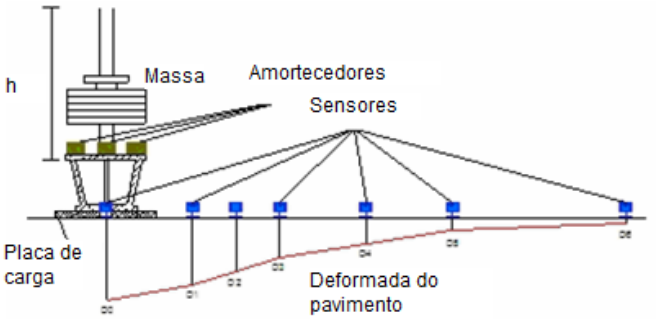


Figura 3.14 – Princípio de ensaio do Deflectómetro de Impacto (LNEC, 2008[c]).

A força de impacto do ensaio é gerada pela queda de uma massa de uma determinada altura sobre um conjunto de amortecedores. A massa, a altura de queda e o número de amortecedores podem ser ajustados para cada ensaio.

As deflexões são medidas por sensores (ou transdutores) no local onde é aplicada a carga de impacto e em pontos distribuídos por uma viga, em que o número de sensores e o afastamento entre os mesmos é variável de acordo com os objectivos definidos para o ensaio e as características do pavimento em estudo (ASTM D 4694-96, 2003), (AC:150/5370-11A, 2004).

Figura 3.15 – Deflectómetro de Impacto [à esquerda (Grontmij | Carl Bro)], [à direita (COST, 2002)].

O Deflectómetro de Impacto encontra-se atrelado a um veículo (Figura 3.15) que o posiciona no local do ensaio, (ensaio estacionário). A placa de ensaio é encostada à superfície do pavimento e a massa, elevada à altura pretendida, é largada sob a mesma, provocando deflexões no pavimento. A aquisição de resultados é efectuada através de um sistema computacional instalado a bordo do veículo rebocador. O diâmetro da placa de ensaio é variável de acordo com a norma ASTM 4694 – 96. Tipicamente o seu diâmetro pode variar entre 30 a 45 cm, sendo que o primeiro é mais utilizado em pavimentos rodoviários e o segundo em pavimentos aeronáuticos.

Porque a medição da temperatura de ensaio é um factor importante na avaliação dos pavimentos flexíveis, que registam deflexões tanto menores quanto menor for a temperatura, o Deflectómetro de Impacto incorpora sensores de temperatura, para medição da temperatura do ar e do pavimento.

Para além disso está equipado com um sistema de posicionamento geográfico DGPS e um instrumento de medição de distâncias DMI.

A utilização deste equipamento permite avaliar as condições da fundação, das camadas de base, sub-base (em fase de construção) e fazer a leitura do comportamento estrutural do pavimento através do cálculo dos módulos de deformabilidade das várias camadas, servindo de referência em estudos de conformidade (com características de projecto) e de possíveis reforços a efectuar no local.

Os resultados obtidos através de ensaios efectuados com o Deflectómetro de Impacto são bastante fiáveis e os próprios ensaios são efectuados rapidamente e com elevado rendimento, tendo em conta a sua condição estacionária, (ainda que a carga aplicada seja dinâmica). As cargas de impacto aplicadas podem atingir 250 a 300 kN dependendo do tipo de equipamento. As maiores cargas dizem respeito ao *Heavy e Super Heavy Falling Weight Deflectometer*, que podem ser utilizados em pavimentos rodoviários e em pavimentos aeronáuticos.

O SHFWD (Figura 3.19 à esquerda) está equipado com 17 sensores de deflexão, uma célula de carga e três sensores de temperatura – um para a medição da temperatura do ar, outro para a medição da temperatura da superfície do pavimento e o terceiro para a medição da temperatura na camada inferior (através de um furo de 10mm de diâmetro). Este deflectómetro proporciona cargas superiores a 300kN[4] e a colocação dos geofones a distâncias superiores de 2,50 m do centro da deflexão.

Através do programa de cálculo associado ao equipamento (Figura 3.16 e 3.17) e após o processamento dos dados recolhidos, podem ser obtidos os seguintes outputs*:* (i) módulo deformabilidade (E) da camada de superfície, bem como das camadas estruturais; (ii) vida residual da estrutura do pavimento (em anos) baseada em previsões de tráfego; (iii) reforço necessário (espessura da camada), baseado nas previsões de tráfego e relatório PCN para a estrutura do pavimento.

Estes outputs vem dar resposta às necessidades mais fundamentais das entidades gestoras e quando integrados correctamente num SGPA proporcionam uma ferramenta importante de apoio à tomada de decisão.

À semelhança do FWD, o equipamento Curviâmetro também permite registar as deflexões do pavimento com o objectivo de avaliar a sua capacidade estrutural. No ANEXO VI pode ler-se a descrição deste equipamento, cuja utilização também se aplica aos pavimentos aeronáuticos.

[4] O SHFWD foi concebido para igualar as cargas impostas pelos aviões de grande porte como o Boing 777 e o Airbus 380, com 266 e 285 kN de força por roda respectivamente.

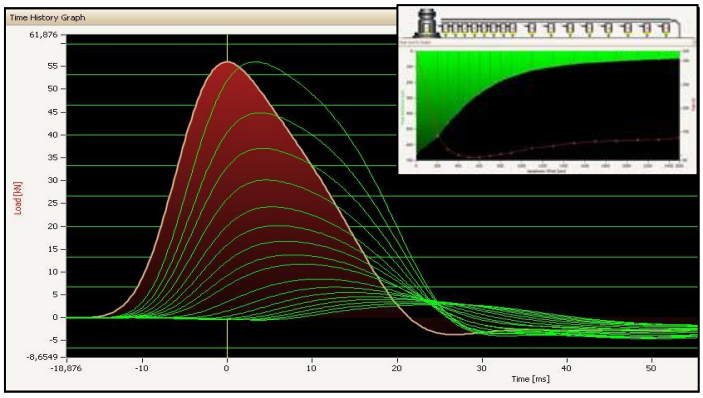


Figura 3.16 – Exemplo de um output do Deflectómetro de Impacto "PRIMAX" da Grontmij | Carl Bro.

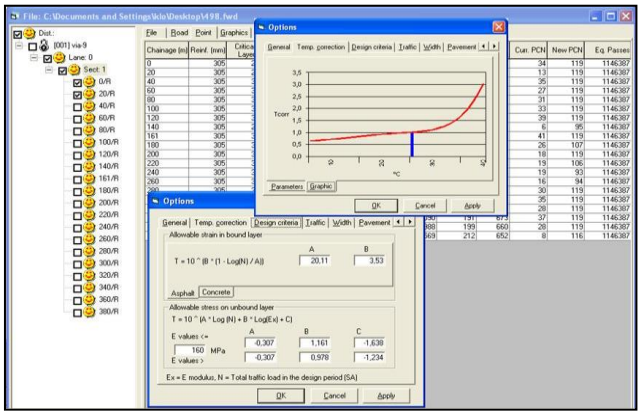


Figura 3.17 – Cálculo do PCN através do software do SHFWD da Grontmij | Carl Bro.

3.3.8 Ensaios de Prospecção

Por vezes os elementos históricos dos pavimentos existentes não são suficientes para determinar a sua constituição sendo necessário proceder à execução de sondagens ou recorrer à utilização do equipamento radar de prospecção.

As sondagens são ensaios de caracterização complementar que permitem ter conhecimento sobre a espessura das camadas e as características dos materiais constituintes, através de ensaios laboratoriais e podem ser efectuadas por rotação (ver Figura 3.18 à esquerda), em que são retirados tarolos cilíndricos e, por abertura de poços, preferencialmente junto à berma de modo a evitar perturbação e destruição das vias de tráfego.

Nas sondagens por rotação apenas são extraídas amostras das camadas ligadas (misturas betuminosas por exemplo) o que torna a abertura de poços (Figura 3.18 à direita) mais vantajosa, na medida em que é possível identificar espessuras, recolher amostras dos materiais presentes nas camadas ligadas e não ligadas (camadas granulares) e, ter uma perspectiva individual de cada uma

delas bem como do conjunto. No entanto, este método, apresenta baixo rendimento de execução e é mais moroso e destrutivo que as sondagens por rotação.

Figura 3.18 – Sondagem à rotação, à esquerda, (imagem cedida pelo Prof. José Neves) e abertura de poço à direita, (Fontul, et al., 2007).

Embora as sondagens por rotação tenham associada uma componente destrutiva, têm menos impacto na estrutura do pavimento que a abertura de poços. No primeiro caso, o espaço vazio deixado pelo tarolo pode ser facilmente preenchido, no segundo caso, é necessário reparar o pavimento logo após o ensaio para que o nível de serviço requerido se mantenha e para que o local do ensaio não se transforme num foco de ocorrência de patologias (Fontul, 2004).

É de notar que estes ensaios, por serem de execução pontual, não permitem a determinação de descontinuidades na estrutura do pavimento. A sua execução destina-se maioritariamente a complementar os resultados obtidos com outros ensaios.

O Radar de Prospecção (*Ground Penetration Radar* – GPR) é um equipamento que permite a detecção em contínuo da posição de camadas de pavimento abaixo da sua superfície, à velocidade do tráfego (Figura 3.19).

Figura 3.19 – Radar de Prospecção do LNEC (Alves, 2007).

Este equipamento pode ser constituído por antenas que efectuam o ensaio suspensas ou apoiadas na superfície, sendo que, o princípio de funcionamento é semelhante, no entanto o rendimento das antenas suspensas é superior, já que permite a execução de ensaios à velocidade de tráfego. As antenas apoiadas requerem uma utilização manual do equipamento (no máximo 20 km/h).

Os dois pares de antenas que constituem o radar emitem ondas electromagnéticas (sinusoidais) com frequência, alcance de penetração e resolução diferentes. Em cada par, uma antena é considerada emissora e a outra receptora. Este equipamento dispõe ainda de um sistema de medição de distâncias (referenciação em relação a uma coordenada x) e um sistema de aquisição de dados (monitor e caixa de aquisição) alimentado por uma bateria.

As ondas reflectidas permitem ter conhecimento sobre a estrutura do pavimento, já que a sua amplitude está associada a diferenças nas propriedades dieléctricas de duas camadas adjacentes. O tempo de percurso das ondas reflectidas permite determinar a profundidade das interfaces entre materiais (ver Figura 3.20) e consequantemente a espessura das camadas do pavimento.

Como resultado dos ensaios são obtidas as interfaces entre camadas de materiais de diferentes naturezas, como, por exemplo, a delimitação entre as camadas de betão betuminoso e material granular, delimitação entre material granular e solo de fundação, no caso de pavimentos flexíveis.

A partir da análise em contínuo da espessura e posicionamento das camadas do pavimento utilizando o Radar e Prospecção, é possível determinar alterações na continuidade da estrutura, como por exemplo assentamentos, que seriam difíceis de identificar recorrendo apenas a sondagens, no entanto, o processamento de dados é moroso e a interpretação dos resultados obtidos é complexa exigindo experiência por parte do observador.

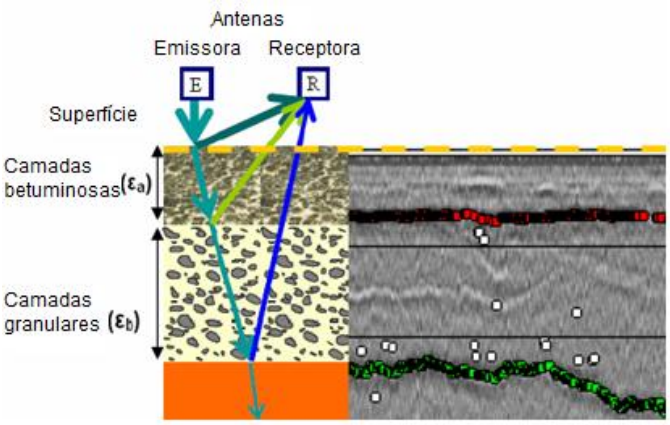


Figura 3.20 – Princípio de funcionamento do Radar de Prospecção num ensaio em pavimento flexível, [adaptado de (LNEC, 2008[d])].

4. Desenvolvimento e Aplicação de Sistemas de Gestão

4.1 Sistemas de Gestão

O conceito “Sistemas de Gestão” tem-se desenvolvido ao longo das últimas décadas no âmbito das actividades aeroportuárias permitindo que ferramentas de apoio à gestão sejam utilizadas no domínio da conservação dos pavimentos.

Um “sistema” compreende um conjunto de elementos que estabelecem relações entre si e ocupam uma posição funcional bem definida dentro do mesmo. Por “gestão” entende-se um conjunto de acções que procuram garantir a afectação eficaz dos recursos disponibilizados, a fim de concretizar os objectivos pré-determinados com maximização dos resultados positivos do investimento realizado.

A necessidade de analisar globalmente diversos aspectos e a sua complexidade leva a que os sistemas de gestão sejam encarados como uma ferramenta de apoio à tomada de decisões por parte de uma determinada entidade. A arquitectura geral, o conteúdo e o funcionamento de um sistema de gestão deve reflectir o contexto político, orgânico, técnico e económico da entidade na qual se insere (Pereira et al., 1999[a]).

4.1.1 Características Fundamentais

Um sistema pode ser fechado e rígido ou aberto e flexível, mas quando existe necessidade de controlar um futuro incerto, deve adoptar-se um sistema aberto, flexível, iterativo e dinâmico. Veja-se o significado destas características fundamentais:

- um sistema aberto é aquele cuja concepção e aplicabilidade não dependem de um ponto de partida e cujo funcionamento não depende da sua conclusão;
- um sistema diz-se flexível quando pode ser complementado com a informação adquirida através da experiência, do progresso dos conhecimentos, da natureza e volume dos dados disponíveis;
- um sistema é iterativo quando se ajusta em função dos resultados obtidos, da avaliação da sua eficácia, e quando permite simular diversos cenários e analisar a sensibilidade em torno da variação dos vários parâmetros de entrada – *inputs*;
- um sistema dinâmico permite integrar variáveis dotadas de leis de evolução ao longo do tempo estabelecidas com base em métodos teóricos, práticos e mistos.

Para além destas características, é fundamental que um sistema se mantenha coerente ao longo do seu planeamento e aplicações parcelares, a qualidade de previsão das leis de evolução introduzidas, não deve comprometer a fiabilidade do sistema no seu conjunto, deve permitir avaliar vários cenários (coerentes) a partir de alternativas políticas e estratégicas e acima de tudo deve reproduzir as

condições reais para que possa ser encarado como uma ferramenta de gestão efectiva pelos seus utilizadores e facilitador da tomada de decisões (Branco et al., 2006).

4.2 Uma Aplicação à Infraestrutura Aeroportuária, Sistema de Gestão de Pavimentos Aeroportuários

Historicamente, grande parte das entidades aeroportuárias tomava decisões sobre a manutenção e reabilitação dos pavimentos apoiadas em necessidades imediatas ou na experiência adquirida, em vez do planeamento a longo prazo ou com base em dados documentados. Esta abordagem não lhes permitia avaliar o custo e eficácia de outras alternativas de conservação, conduzindo a uma utilização ineficiente dos meios existentes (TRB, 2008). A noção evidente de que as decisões tomadas no presente reflectir-se-iam na condição futura do pavimento e na disponibilidade dos recursos existentes, trouxe a necessidade de desenvolver e adoptar ferramentas de apoio, como os sistemas de gestão de pavimentos aeronáuticos.

No domínio aeroportuário, os SGP permitem fazer uma avaliação sistemática, objectiva e consistente da condição existente e futura dos pavimentos. Também disponibilizam ferramentas que permitem gerir as despesas de conservação de forma mais económica, eficiente e auxiliam projectos de conservação e reabilitação ao formularem vários tipos de cenários em função da disponibilidade de recursos (Shahin, 2005).

O mais antigo destes sistemas e precursor de vários outros, o *Paver,* permitiu o desenvolvimento da gestão de pavimentos juntamente com a evolução dos computadores na década de 80 (Shahin, 2005). Hoje conhecido como *Micro-Paver* é largamente utilizado tanto em redes de pavimentos rodoviários como aeronáuticos nos EUA e em muitos outros países. Nos EUA, por exemplo, 84% das administrações aeronáuticas já utilizam sistemas de gestão de pavimentos (TRB, 2008).

4.2.1 Objectivos e Benefícios de um SGPA

Um sistema de gestão de pavimentos aeroportuários – SGPA – visa a melhoria continuada do nível de serviço e segurança da infraestrutura aeroportuária, prolongar a sua duração e polivalência de utilização, a par da optimização do investimento na construção, conservação e reforço. Tem igualmente como grande objectivo, constituir uma ferramenta de apoio à decisão da equipa que tem a seu cargo a gestão destas infraestruturas.

Existem inúmeros benefícios a retirar da utilização de um SGPA. Do ponto de vista técnico, pode ser utilizado para obter um inventário e os dados disponíveis sobre a condição do pavimento num determinado sistema. Toda a informação inerente aos pavimentos é armazenada numa única base de dados informatizada tornando significativamente mais fácil o acesso e consulta dessa informação.

Existindo uma base de dados completa e eficaz é possível avaliar os resultados de experiências realizadas, de modo a melhorar as técnicas de construção e conservação. Assim, um dos principais benefícios dum SGPA é facto deste oferecer uma forma mais eficiente de monitorizar a condição dos pavimentos e de delinear planos de conservação e reparação.

Outro benefício técnico reside na possibilidade de examinar tendências de deterioração do pavimento nas várias secções que constituem a rede ou sistema, levando ao desenvolvimento de modelos de comportamento que permitem prever a sua evolução ao longo do tempo. A análise comportamental dos pavimentos ao longo do tempo permite traçar estratégias de conservação e em função de critérios pré-estabelecidos, determinar a melhor solução atendendo aos impactes gerados em termos de custos e benefícios (Broten, 2004).

A Figura 4.1 ilustra como um pavimento geralmente se deteriora e os custos relativos às reabilitações que vão sendo realizadas ao longo da sua utilização. Na maioria da sua vida útil, um pavimento tem geralmente um bom desempenho, no entanto assim que atinge a sua condição "crítica" deteriora-se muito depressa. Vários estudos têm mostrado que a manutenção periódica num pavimento em bom estado versus a reabilitação num pavimento em mau estado é 4 a 5 vezes menos cara. O número de anos que um pavimento permanece em "boas condições" prende-se com vários factores como o tipo e qualidade de construção, o tipo de tráfego a que está sujeito, as condições climáticas e a sua manutenção. Também pode ver – se na mesma figura, que o momento ideal para intervir, em termos de reabilitação, corresponde ao ponto a partir do qual a taxa de deterioração do pavimento aumenta significativamente. Ora, seria fácil de planear as intervenções de conservação e reabilitação num pavimento se os sinais que mostram o momento ideal para intervir fossem óbvios, mas infelizmente não são. Numa rede de pavimentos a curva de degradação pode variar consideravelmente tornando difícil prever o momento em que os pavimentos atingirão o seu ponto crítico. O SGPA vem precisamente colmatar estas dificuldades, ajudando a equipa decisora a canalizar eficientemente os recursos disponíveis no tempo (AC:150/5380-7A, 2006).

As vantagens de um SGPA podem agrupar-se em duas categorias essenciais: económica e administrativa. Do ponto de vista económico permite administrar os recursos necessários, determinando o nível de financiamento mais adequado; planificar a beneficiação da rede em função da disponibilidade de recursos; definir o efeito do adiamento dos trabalhos de conservação sobre os custos da administração e assegurar a rentabilidade dos recursos disponíveis, utilizando um sistema de prioridades, baseado na comparação de custos e benefícios emergentes das diferentes alternativas possíveis. Do ponto de vista administrativo, possibilita ter total conhecimento do estado geral da rede de pavimentos; planificar e programar as actividades de conservação e reparação; estabelecer o método de observação mais eficaz, determinar as consequências dos diferentes níveis de financiamento sobre o estado do pavimento e utilizar uma base objectiva para decisões políticas (Branco et al., 2006).

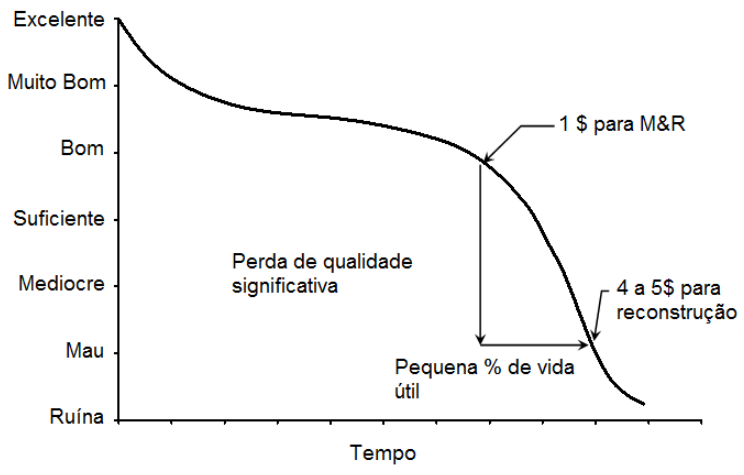


Figura 4.1 – Degradação da condição de um pavimento (Shahin, 2005).

Todas as características e benefícios mencionados proporcionam uma conservação mais eficaz dos pavimentos ao longo do tempo, a par de um método mais eficiente de atribuição do financiamento disponível.

Nos Estados Unidos da América, uma análise feita a várias bases de dados, revelou uma lenta, mas constante, melhoria da condição dos pavimentos desde a implementação do SGPA nas correspondentes administrações (Broten, 2004). Um relato de sucesso vem do Departamento de Aviação da Virgínia – VDOA, que implementou, em 1990, um SGPA para criar prioridades entre as actividades de conservação da rede de pavimentos aeronáuticos. O indicador utilizado pelo VDOA para medir a condição do pavimento foi o PCI que, no início das actividades era, em média, de 76 (muito bom). Em 1993, após três anos de utilização do SGPA passou para 84 (muito bom, próximo de excelente) sem acréscimos significativos com gastos de conservação.

4.2.2 Custos Associados a um SGPA

Os custos associados a um SGPA incluem o custo da recolha de dados e inventário dos pavimentos que possibilitarão a construção de uma base de dados completa. Estes custos devem ser considerados ao longo do tempo, uma vez que a base de dados deve manter-se actualizada. Também existem custos associados ao hardware e software bem como à operação e manutenção do sistema. Os custos inerentes à formação inicial, da equipa que operará o sistema, e consequente reciclagem também devem ser contabilizados.

4.2.3 Estrutura de um SGPA

Do ponto de vista global, a estrutura de um SGPA integra os seguintes módulos e valências apresentadas na Figura 4.2.

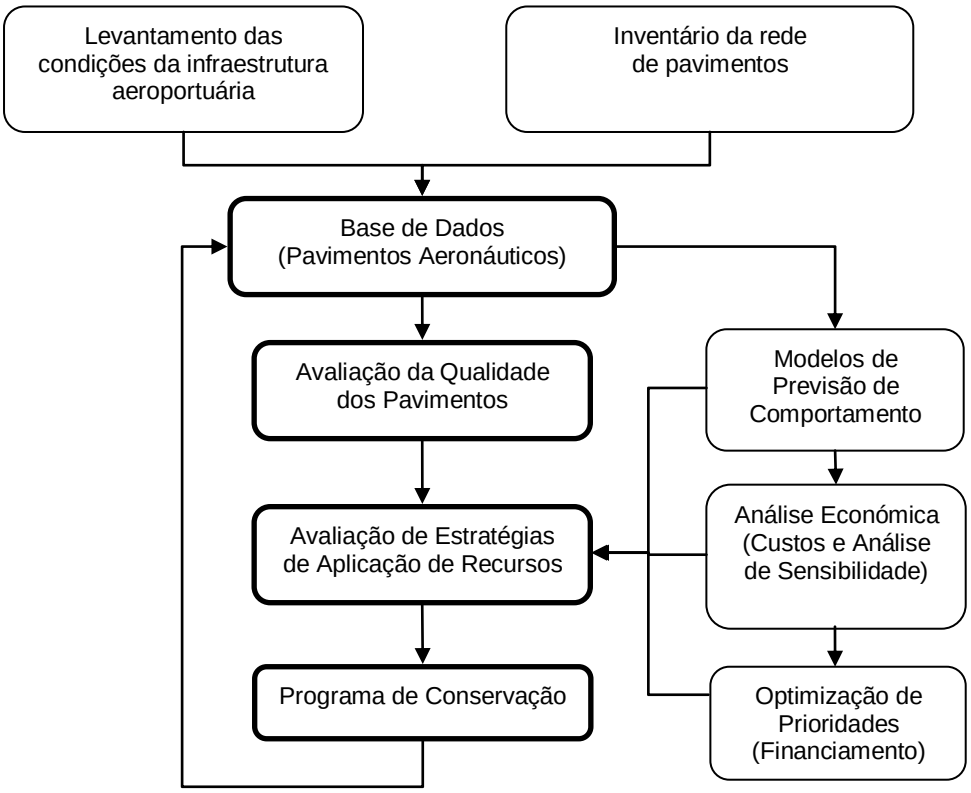


Figura 4.2 – Estrutura geral de um Sistema de Gestão de Pavimentos Aeroportuários.

Um SGPA é essencialmente um sistema de informação, como tal, o seu elemento nuclear é a "base de dados". Nela encontram-se reunidos todos os dados respeitantes à infraestrutura e ao seu estado num determinado momento.

Após a análise dos dados provenientes do levantamento das condições da infraestrutura num dado momento é feita a "avaliação da qualidade dos pavimentos". A informação relativa à evolução do estado da rede vai sendo armazenada na base de dados de modo a apoiar o desenvolvimento de "modelos de previsão de comportamento" dos pavimentos observados.

Tendo em conta a qualidade dos pavimentos observados e a estratégia de manutenção escolhida, os modelos previsionais elaboram cenários evolutivos do estado de conservação da rede permitindo a simulação de vários planos de reabilitação. Estes planos, uma vez apoiados por análises económicas (custos para a administração e para os utilizadores e critérios de prioridades ("financiamento"), permitem fazer uma avaliação estratégica e de aplicação de recursos que leva finalmente ao "programa de conservação" dos pavimentos aeronáuticos.

4.2.4 Níveis de Gestão da Rede de Pavimentos Aeronáuticos

Um SGPA pode ser aplicado a dois níveis distintos: ao “nível de rede” (englobando toda a rede de pavimentos) e ao “nível de projecto” (para a análise de um determinado trecho da rede).
Ao nível de rede, o sistema de gestão tem por objectivo responder a questões que se prendem com as necessidades orçamentais de curto e longo prazo ou com condição geral do pavimento (corrente e futura) (TRB, 2008), servindo de apoio às políticas de gestão por parte da administração e responsáveis financeiros. Uma análise a este nível compreende os seguintes aspectos (Branco, et al., 2006):

- avaliação do estado dos pavimentos ao nível da rede;
- identificação dos trechos da rede a serem beneficiados, determinando a respectiva prioridade, tendo em conta factores como o tráfego, custo dos utentes, outros critérios de decisão;
- determinação do orçamento necessário ao nível da rede a curto e médio prazo;
- previsão futura do estado da rede, em função do nível de investimento considerado e da política de conservação adoptada.

Ao nível de projecto, procura-se a solução mais adequada, do ponto de vista técnico-económico, para cada trecho da rede. É crucial obter informação detalhada e uma análise exaustiva da mesma, de modo a definir com rigor cada projecto em particular (TRB, 2008). A este nível de gestão devem considerar-se as seguintes acções (Branco, et al., 2006):

- avaliação das causas de degradação;
- determinação das soluções possíveis;
- avaliação dos custos e benefícios ao longo da vida do pavimento de cada estratégia alternativa;
- selecção de estratégias e projectos de reabilitação.

4.2.5 Inventário e Levantamento das Condições dos Pavimentos

A aquisição e o processamento de dados são componentes essenciais de um SGPA. Durante esta etapa, é necessária a obtenção de dados objectivos, confiáveis, actualizados e organizados por categorias como: inventário, tráfego, condições do pavimento e custos. As informações necessárias para cada categoria de dados devem ser examinadas tendo em conta as necessidades de gestão com vista à utilização óptima das redes de infraestruturas.

Devem fazer parte do inventário todos os dados relativos às características do pavimento, como a sua localização (e identificação da rede); a sua classe; a geometria transversal e longitudinal; os materiais e espessuras das camadas; o histórico de construção, conservação e restauração; a condição dos sistemas de drenagem e sinalização; o sistema de referenciação (ANA, 2009).

Em relação ao tráfego, avaliam-se variáveis como o tipo, o modelo, a configuração de aeronaves, a frequência de operação, a classificação e carga.

O levantamento das condições do pavimento é conseguido através da avaliação funcional e estrutural envolvendo a identificação de irregularidades, degradações, capacidade de suporte e segurança. Os dados provenientes desta caracterização, permitirão proceder à avaliação da qualidade dos pavimentos, tendo por base indicadores de desempenho.

A etapa de custos envolve as informações de valores estimados para a construção, conservação e reabilitação dos pavimentos.

4.2.6 Definição e Mapeamento da Rede de Pavimentos

Dividir a rede de pavimentos em unidades de análise menores, melhor controláveis, é um processo importante para a operação do SGPA (TRB, 2008). Desta forma a rede de pavimentos pode subdividir-se em ramos, secções e unidades amostrais (AC:150/5380-6A, 2003).

A maior unidade de um SGPA é a rede. Uma rede, normalmente de um aeroporto, define-se como um conjunto de pavimentos que são mantidos e geridos em conjunto, tal como o conjunto das áreas pavimentadas, utilizadas pelo tráfego aéreo (Veloso, 2001). A rede é então dividida em ramos. Regra geral, os ramos são a segmentação dos pavimentos atendendo às suas funções específicas dentro da rede. As pistas, placas de estacionamento e caminhos de circulação são exemplo de ramos comuns da rede de pavimentos. Um ramo pode dividir-se em unidades menores chamadas secções. Cada secção é vista como uma unidade de gestão quando em causa estão acções de conservação ou reabilitação, atendendo ao facto de que ao longo da mesma deve haver homogeneidade no que diz respeito, ao tráfego, à história construtiva, à estrutura e condição do pavimento (ASTM D 5340 – 04 $^{\varepsilon 1}$, 2004).

Durante a inspecção ao pavimento, poderá surgir a necessidade de subdividir o pavimento em novas secções, caso se verifique uma mudança significativa da condição ou superfície do pavimento. Com o objectivo de tornar a análise mais sensível à relação entre as degradações e o tipo de carga a que os pavimentos estão sujeitos, é importante definir secções tendo em conta as solicitações impostas (tráfego muito pesado, tráfego pesado, tráfego ligeiro, sem tráfego). O mau seccionamento dos pavimentos pode levar posteriormente a resultados de análise errados.

O último passo no processo de definição de rede, consiste em dividir-se cada secção em unidades de análise, com especial importância para efeitos de inspecção da condição do pavimento. A norma ASTM D 5340 – 04 $^{\varepsilon 1}$ estipula que o tamanho da unidade amostral para os pavimentos aeronáuticos é o seguinte:

- pavimento rígido = 20 lajes de betão contíguas (+/- 8 se o número total não for divisível por 20, ou para acomodar condições de campo específicas);
- pavimento flexível = 450 m^2 contíguos (+/- 180 m^2 se a secção do pavimento não for divisível por 450m^2, ou para acomodar condições de campo específicas).

A divisão da rede em áreas de análise vai servir de base para o carregamento no SGPA da restante informação relativa ao pavimento.

4.2.7 Base de Dados dos Pavimentos Aeronáuticos

A base de dados constitui o cerne do sistema de gestão, funcionando como um núcleo central onde são registados e tratados os dados provenientes de vários sectores ao mesmo tempo que recebe e fornece informação dos diversos componentes do sistema. Os dados compreendem os valores de diversas variáveis e factores influentes no comportamento dos pavimentos bem como informação relativa à exploração da rede (custos de conservação, operação, custos de acidentes e custos sociais).

Existem vários elementos que influenciam a adequada gestão dos pavimentos do ponto de vista da sua conservação, são eles: a estrutura do pavimento (materiais e espessuras), o historial das intervenções de manutenção incluindo custos, dados relativos ao clima, o tráfego (número de operações e tipos de aeronaves) e a informação sobre a condição do pavimento (estado da superfície, características funcionais e estruturais).

4.2.7.1 Princípio de Funcionamento de uma Base de Dados

Numa fase inicial, depois do levantamento de toda a informação relativa aos pavimentos, a base de dados recebe os dados que o fornecedor preparou, ficando com toda a informação existente actualizada. Os dados são armazenados sobre suporte informático cumprindo um conjunto de requisitos, como a pertença a um sistema de referenciação comum; a sua organização segundo níveis diferentes; a capacidade de alimentarem diferentes aplicações, eventualmente independentes; a não duplicação da sua existência e, por último, a sua possível actualização e ampliação. Apenas desta forma é possível que haja interligação dos vários sectores relacionados com um determinado domínio.

Segue-se o tratamento de dados que é feito de forma automática pelo sistema ou na sequência de um pedido de informação pelo utilizador. Já na fase de utilização da base de dados, pode aceder-se à informação através de “menus” de pesquisa e solicitá-la num determinado suporte (Quadror, gráfico, cartográfico).

Informaticamente falando, considera-se que uma base de dados corresponde a um conjunto homogéneo de dados, o qual pode estar relacionado com outra base de dados relativa ao mesmo problema real. Para que o sistema possa ser desenvolvido é necessário que a base de dados a adoptar seja "relacional", na qual se estabelecem relações entre os seus ficheiros, ou de outras bases de dados, através de dados comuns, permitindo um acesso rápido e unívoco (Branco et al., 2006).

Durante o desenvolvimento e implementação de uma base de dados é necessário identificar-se, além dos objectivos básicos, as categorias de utilizadores e fornecedores de dados.
No que diz respeito aos utilizadores é necessário definir que grupos terão acesso à informação e de que forma a poderão ver. Se se pensar que os utilizadores podem estar dentro ou fora da organização e dentro desta podem pertencer ao sector político-administrativo ou ao sector técnico, chegar-se-á à conclusão que as necessidades destes grupos, quanto ao volume e pormenor da informação, são distintas. Desta forma, o acesso e a saída de informação a produzir para cada um deles também será diferente.

Quanto aos fornecedores de dados, estes serão função do tipo e volume de dados a recolher mas também da metodologia de desenvolvimento adoptada.

4.2.7.2 Principais funções da Base de Dados

Tendo por base os vários sectores de actividade respeitantes à gestão dos pavimentos aeronáuticos, as principais funções de uma base de dados devem ser as seguintes (Branco et al., 2006):

- planificação e programação: fornecer informações sobre a rede dos pavimentos servindo de apoio à tomada de decisão sobre as necessidades e prioridades respeitantes à melhoria dos pavimentos e elaboração de programas de execução;
- projecto: disponibilizar informação relativa ao comportamento das várias secções de pavimentos, a partir da avaliação da respectiva qualidade, dados construtivos, com vista ao melhoramento das técnicas e qualidade de construção, assim como a fiabilidade dos modelos de comportamento;
- construção: fornecer informação sobre custos, métodos de execução e especificações relativas à qualidade a exigir dos trabalhos;
- conservação dos pavimentos: processar toda a informação armazenada e com base na programação das acções de conservação, fornecer a listagem dos trabalhos a executar;
- investigação: desenvolver modelos que permitam espelhar no tempo a evolução do estado dos pavimentos.

4.2.8 Avaliação da Qualidade dos Pavimentos

Uma das tarefas fundamentais do SGPA é a observação da evolução do estado do pavimento ao longo do tempo com a periodicidade adequada aos parâmetros a monitorizar. Essa observação é feita através de ensaios *in situ* donde são retirados e analisados os dados necessários à caracterização do pavimento. A partir dos dados analisados são determinados índices que se relacionam com a qualidade estrutural (capacidade de suporte, degradação estrutural) e funcional (segurança e conforto de circulação) do pavimento.

A informação obtida da avaliação da qualidade não só é importante para a caracterização de um pavimento num dado instante como também é fundamental para o desenvolvimento de modelos de comportamento de cada tipo de pavimento relativamente à sua estrutura e funcionalidade.

Existem três metodologias para avaliar a qualidade dos pavimentos: a avaliação global, a avaliação paramétrica e a avaliação mista (Branco et al., 2006).

A avaliação global traduz o estado do pavimento através de um só índice (índice global) resultante de um determinado algoritmo de cálculo que integra diferentes parâmetros de estado, com diferentes pesos atribuídos. As grandes vantagens deste tipo de avaliação são a facilidade de classificar o estado dos pavimentos através de uma única nota, atribuída a cada trecho de pavimento, bem como a representação cartográfica clara do estado da rede, em particular para apoio dos decisores da área da conservação. Quanto às desvantagens, salientam-se a possibilidade da mesma nota representar diferentes estados do pavimento, tendo em conta que os diferentes níveis de cada parâmetro podem compensar-se entre si e a dificuldade na definição dos coeficientes de ponderação, a atribuir a cada parâmetro considerado no algoritmo de cálculo da nota global.

A avaliação paramétrica considera na caracterização do estado do pavimento, a definição de classes para cada um dos parâmetros tidos como relevantes. As classes são definidas tendo em conta as consequências que o estado do pavimento correspondente a cada uma delas terá, tanto na qualidade estrutural como funcional do pavimento. Desta forma é possível fazer uma análise mais precisa do estado do pavimento e consequentemente definir o tipo de intervenção de conservação mais adequada.

A avaliação mista combina as diferentes classes dos diferentes parâmetros de estado de forma a definir classes de estado de conservação de cada trecho do pavimento observado. Com esta metodologia pretende-se eliminar os inconvenientes da avaliação global mantendo as vantagens da análise paramétrica. Através de grelhas de dupla ou tripla entrada, é possível definir dezenas de estados possíveis para cada trecho do pavimento.

4.2.8.1 Avaliação da Qualidade dos Pavimentos Aeronáuticos

A avaliação da qualidade dos pavimentos aeronáuticos envolve a análise de vários indicadores de desempenho e consequentemente parâmetros de estado. A selecção destes indicadores pode variar em função das características do aeródromo como a sua dimensão, o tipo e fluxo de tráfego que recebe, as condições climáticas a que está sujeito, etc.

Tipicamente, a gestão ao nível da rede envolve apenas uma avaliação visual das condições de superfície dos pavimentos. Ao nível de projecto, sendo crucial obter informação mais detalhada, são avaliados os restantes parâmetros respeitantes aos pavimentos e realizados, se necessário, ensaios destrutivos (como a extracção de carotes e execução de poços de inspecção) para melhor conhecimento dos dados estruturais.

O método de avaliação global do Índice de Condição do Pavimento – PCI – originalmente desenvolvido para pavimentos aeronáuticos pelo grupo de engenheiros do exército americano (*Unitated States Army Construction Engineering Research Laboratory* – CERL) na década de 70, é largamente usado pela maioria das administrações aeronáuticas Americanas e por outras a nível internacional. O seu objectivo (Shahin et al., 1979) centra-se em obter um índice numérico com base nas degradações observadas que retrate as condições funcionais e estruturais do pavimento e, a partir desse índice, estabelecer metas quanto às necessidades de manutenção e recuperação dos pavimentos, bem como do seu desempenho em serviço.

Para efeitos de classificação da condição do pavimento, o PCI toma valores entre 0 e 100, sendo que 0 é a pior condição possível e 100 a melhor. Note-se que este índice não mede a capacidade estrutural, nem possibilita a medição directa da resistência à derrapagem e da irregularidade.

O PCI não é o único índice global de condição do pavimento utilizado com a finalidade de estabelecer prioridades de intervenção. O *Condition Rating Index* – CRI, tem vindo a ser aplicado em países como o Canadá, tendo sido desenvolvido especialmente para a 1 Canadian Air Division (Shah et al., 2004).

Para além da condição superficial do pavimento, o CRI toma em linha de conta a rugosidade, a resistência à derrapagem e a existência de *Foreign Object Damage* – FOD, devidos unicamente à deterioração do pavimento.

À semelhança da classificação do PCI, o CRI toma valores entre 1 e 100, onde 1 corresponde a um pavimento em ruína e 100 a um pavimento em excelente estado.

4.2.9 Ferramentas de Apoio à Decisão

Para que um SGPA constitua uma ferramenta de apoio à decisão deve conseguir prever a evolução do estado da rede ao longo do tempo, as solicitações e as acções de conservação a realizar em cada fase da sua vida. Desta forma torna-se possível simular várias estratégias de conservação e fazer a sua análise do ponto de vista técnico-económico com o objectivo de obter a estratégia de conservação "óptima". Estas valências são alcançadas através de modelos de previsão da evolução do comportamento dos pavimentos e de conceitos básicos de avaliação económica, tendo em conta os custos associados à gestão de pavimentos.

4.2.9.1 Modelos de Previsão de Evolução do Comportamento

O desenvolvimento de modelos de previsão de evolução de comportamento dos pavimentos constitui a parte mais complexa e difícil de um sistema de gestão. As componentes do sistema a jusante, como a definição de estratégias e planos de conservação, dependem da fiabilidade destes modelos.

Existem vários métodos que podem ser empregues na criação de modelos de previsão de evolução do comportamento. A selecção do método mais adequado depende em grande parte da quantidade de dados disponíveis e do tipo de software seleccionado para fazer a gestão dos pavimentos.

a. Classificação dos Modelos de Comportamento

A classificação dos modelos de previsão da evolução do comportamento pode fazer-se com base nos seguintes critérios (Quadro 4.1):

Quadro 4.1 – Classificação dos modelos de comportamento (Branco et al., 2006).

Critérios de Classificação				
Nível de aplicação	**Tipo de variáveis dependentes**	**Tipo de variáveis independentes**	**Formato conceptual**	**Tipo de formulação**
Projecto	Globais	Absolutos	Empírico	Determinístico
Rede	Paramétricos	Relativos	Mecanicista	Probabilístico
			Empírico-Mecanicista	

Os modelos podem aplicar-se ao nível da rede ou ao nível de projecto. A aplicação de modelos ao nível de rede tem como objectivo prever o estado futuro dos pavimentos, de forma a apoiar a definição das necessidades de intervenção ao longo de vários anos. Ao nível de projecto, os modelos de comportamento tem como função apoiar decisões de carácter técnico, na medida em que definem acções de conservação para determinados trechos da rede.

Mediante o tipo de variáveis dependentes utilizadas, um modelo pode definir-se como global ou paramétrico. Os modelos globais, como o próprio nome sugere, expressam o estado do pavimento em termos globais, através de índices de degradação e de condição ou de serviço, ao passo que os modelos paramétricos definem o estado do pavimento através de índices que representam os diferentes parâmetros de estado.

Em função das variáveis independentes envolvidas, os modelos podem classificar-se em duas categorias: modelos relativos ou modelos absolutos. Os modelos relativos prevêem o estado futuro dos pavimentos a partir dos diferentes parâmetros de estado, medidos ao longo dos anos de serviço, considerando apenas uma variável independente, que tanto pode ser o tempo (anos de serviço) ou o tráfego suportado (ACN/PCN). Os modelos absolutos consideram várias variáveis independentes para explicar a evolução dos pavimentos (espessura das camadas, módulos de deformabilidade, clima, tráfego, etc.).

A metodologia de concepção de um modelo pode ser desenvolvida através de métodos teóricos ou mecanicistas, métodos experimentais ou empíricos, ou de métodos teóricos combinados com avaliações experimentais (empírico-mecanicistas).

Quanto à formulação, genericamente os modelos classificam-se como determinísticos (“reactivos”) ou probabilísticos (“proactivos”), admitindo que a explicação da degradação dos pavimentos pode ser de carácter determinístico ou probabilístico. A estrutura do modelo será influenciada segundo cada um destes princípios. Os modelos determinísticos indicam um valor para o parâmetro de comportamento correspondente a cada grupo de variáveis independentes do modelo. O modelo probabilístico, indica um valor esperado e as probabilidades de cada estado do pavimento, definido após um ou mais anos de deterioração.

b. Modalidades de Desenvolvimento de Modelos de Comportamento

Existem duas categorias principais no que diz respeito às técnicas de modulação dos modelos de comportamento actuais: uma categoria que utiliza algoritmos numéricos baseados em grandes bases de dados e outra que recorre aos princípios da inteligência artificial recorrendo a experiência acumulada dos investigadores ou a bases de dados menores.

Os algoritmos numéricos podem ser desenvolvidos através de técnicas empíricas (extrapolação linear, regressão múltipla linear e não linear), técnicas empírico-mecanicistas (combinação da modelação estatística com a resposta elástica e visco-elástica do pavimento; regressão polinomial; metodologia bayesiana), técnicas probabilísticas (curvas de sobrevivência associadas a uma determinada função de distribuição, aproximações markovianas, metodologia bayesiana).

Os sistemas inteligentes e as redes neurais são utilizados como técnica de modelação quando os dados históricos são insuficientes para desenvolver algoritmos numéricos. Os primeiros procuram simular o pensamento e igualar os conhecimentos de um grupo de especialistas num determinado domínio, através de programas computacionais interactivos que tentam construir um corpo de explicações algorítmicas dos seus processos mentais (Uminho, 2010). As redes neurais são constituídas por um conjunto de processadores simples que estão interligados para formar uma representação matemática de uma relação que pode estar inerente a um conjunto de dados. A técnica RN, tem a possibilidade de aprender com os dados, e quando devidamente "treinada", pode estimar os resultados a partir dos dados de entrada sem algoritmos ou especialistas.

4.2.9.2 Análise Económica de Estratégias de Conservação

A análise económica no domínio dos pavimentos tem como objectivo apoiar a decisão quanto à escolha de alternativas de construção e conservação mais rentáveis atendendo ao custo e benefício obtidos mediante determinados aspectos técnico-económicos, ao longo do ciclo de vida dos pavimentos. Todos os factores influentes na evolução do pavimento devem ser considerados, determinando, para uma dada qualidade exigida, o menor custo total.

Genericamente num estudo de análise económica identificam-se as alternativas capazes de responder ao problema diagnosticado, incluindo as alternativas intermédias e nula (não fazer nada) e avaliando as respectivas consequências; definem-se os vários factores que podem contribuir para o custo e benefício das mesmas; assegura-se a mesma base de comparação entre elas de modo a seleccionar a mais vantajosa.

a. Custos associados à Gestão de Pavimentos

Nesta perspectiva económica de apurar a rentabilidade e viabilidade de um projecto, análises de custo – benefício têm sido conduzidas por mais de quatro décadas no domínio dos pavimentos rodoviários (McNerney et al., 1995).

Nos anos 70, as análises económicas de estratégias de reabilitação dos pavimentos concentravam-se na minimização de custos para a administração e, por vezes também, nos custos para os utentes, considerando os custos de combustível e o tempo de percurso. A modelação destes custos revelou-se surpreendente ao perceber-se que podiam ser mais significantes para a análise, do que até então haviam sido considerados. Por exemplo, durante o desenvolvimento de modelos de previsão, os pesquisadores descobriram que os "custos de atraso" no tempo de percurso (*delay costs*) ultrapassavam os custos associados à reconstrução e reabilitação do pavimento (Butler, 1973). O programa de conservação e design rodoviário (Highway Design and Maintenance Model – HDM II,

mostrou que num período de análise de mais de 20 anos, os custos dos utentes constituíram mais de 85% dos custos totais do projecto (Watanatada et al., 1988).

Estas constatações levaram à conclusão que a análise do custo do ciclo de vida de um projecto (*Life-cycle Cost Analysis* – LCA) devia ser considerada e integrada nos sistemas de gestão e conservação dos pavimentos. Com esta abordagem todas as actividades efectuadas durante o ciclo de vida do projecto seriam custeadas e obtidos um conjunto de indicadores económicos.

Esta abordagem, que se mantém actual no domínio rodoviário, despertou o interesse das administrações aeronáuticas, que depressa perceberam que podiam adaptar os métodos desenvolvidos e aplicá-los aos sistemas de gestão de pavimentos aeronáuticos (McNerney et al., 1995). Porém, uma análise de custos mais direccionada para a realidade aeronáutica pode trazer mais fiabilidade à análise de custo do ciclo de vida dos pavimentos (McNerney et al., 1995).

Alguns investigadores consideram evidente que, se apenas forem contabilizados os custos para a administração e para o utilizador, serão negligenciados outros custos importantes (McNerney et al., 1995) e dão um exemplo do que pode ser um modelo de "Análise de Custo Total" (*Full Cost Analysis*) do ciclo de vida dos pavimentos aeronáuticos, como pode ver-se na Figura 4.3.

Segundo o modelo de "Análise de Custo Total" apresentado na Figura 4.3, devem considerar-se como inputs todos os elementos constituintes da rede de pavimentos (pistas, placas de estacionamento, etc.) e o impacto das actividades de construção e conservação nas actividades aeronáuticas, tais como atrasos nos tempos de embarque ou de *slot*[5] concedido.

Quando existem obras de construção ou reabilitação em curso, qualquer aumento no custos de operação de aeronaves, nomeadamente de combustível, deve ser calculado, da mesma forma que deve considerar-se o custo do tempo de atraso do passageiro (*passenger delay*) se induzido pelo atraso operacional da aeronave (*air delay*).

Os custos externos, muitas vezes não contabilizados, surgem como um indicador importante dos aspectos ambientais na estratégia da política de transportes e de apoio à decisão (Coutinho et al., 2004), (McNerney et al., 1995). As externalidades mais importantes geradas pelo sector aéreo são a perturbação por ruído e as emissões poluentes (Cruz, 2009).

No modelo de "Análise de Custo Total" apresentado, o ruído e a poluição do ar provocados pelas operações de táxi, de descolagem/aterragem de aeronaves estão inseridos na parcela "custo externo local", do mesmo modo que a poluição proveniente do aumento dos parâmetros de exploração devido a restrições de disponibilidade de pista é contabilizada como um "custo externo de área".

[5] *Slot- time*: janela temporal de aterragem e descolagem de aeronaves.

O processamento dos dados de entrada pelo referido módulo de análise económica resulta numa série de outputs dos quais o mais importante é a "alternativa de reabilitação" baseada na minimização dos custos totais tendo em conta uma ampla gama de categorias de análise. Como os restantes resultados de avaliação económica, consideram-se os custos associados ao atraso de passageiros (*passenger delay*) e de aeronaves (*air delay*); os níveis de ruído e de qualidade do ar associados a padrões de exploração; o aumento do custo com combustíveis resultante das filas de aterragem /descolagem e da capacidade do aeroporto (McNerney et al., 1995).

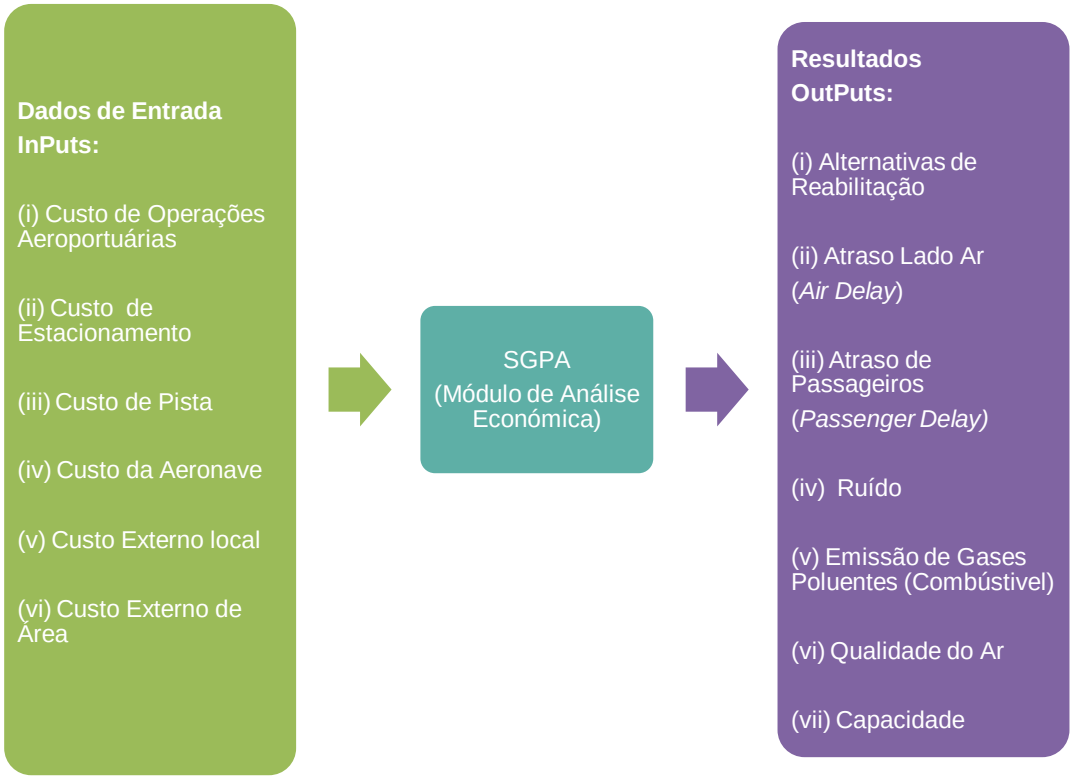


Figura 4.3 – Entradas e saídas do módulo de "Análise do Custo Total" do ciclo de vida de um pavimento.

Os custos indirectos, considerados como o custo de operação de aeronaves (nas pistas e corredores de circulação) e os custos de atrasos relacionados com o fecho de pistas e corredores de circulação, também têm influência nas decisões sobre a gestão e conservação dos pavimentos. Condicionar a circulação de aeronaves em determinadas pistas e corredores, pode afectar o horário dos operadores e os custos de operação. Para além disso, é necessário contabilizar os custos com o tempo perdido pelos passageiros, com o ruído e a poluição atmosférica produzida durante o tempo adicional das operações de *táxi.*

Os custos de operação de aeronaves relacionados com o estado de conservação da pista, nomeadamente com a rugosidade, também podem ser contabilizados como custos indirectos, já que a rugosidade tem particular influência na evolução do estado de degradação das aeronaves (McNerney et al., 1995).

Resumindo, com a "Análise de Custo Total" pretende-se definir estratégias que proporcionem padrões elevados de qualidade de construção como de conservação ao longo do ciclo de vida do pavimento, isto porque a inoperabilidade dos pavimentos aeronáuticos é altamente penalizada em termos de custos, tanto para a administração como para os utilizadores.

De facto, a análise de custos pode revelar-se bastante complexa pelo que muitas vezes, por uma questão de simplificação, a análise de custos utilizada no sector rodoviário é frequentemente transposta para o domínio aeroportuário. Neste âmbito, é comum considerar-se dois grandes grupos de custos: os "custos da administração" e os "custos dos utilizadores".

Nos **"custos da administração"** são considerados: custos de projecto; custos de construção (custos iniciais); custos de conservação e o valor residual, que se explicam em seguida.

Custos de projecto: envolvem todos os custos com estes relacionados, incluindo a obtenção de dados referentes à caracterização do tráfego actual e futuro e caracterização do pavimento existente.

Custos de construção: reflectem o investimento inicial da construção de um pavimento novo.

Custos de conservação: referem-se a todas as acções levadas a cabo ao longo da vida do pavimento para mantê-lo acima de um determinado padrão de qualidade.

As acções de conservação podem ser correntes, na medida em que são corrigidas deficiências pontualmente no pavimento aquando do seu surgimento, ou periódicas, num conjunto de acções executadas em determinados períodos da vida do pavimento, com o objectivo de recuperar as suas características funcionais e estruturais ou reduzir a sua taxa de degradação. A conservação corrente é mais difícil de planificar e de estimar os custos envolvidos (muitas vezes avaliados em termos médios). A conservação periódica tem uma frequência mais reduzida e pode ser planificada, tornando o cálculo dos custos para a administração mais fácil.

Valor residual: determina o valor estrutural e funcional que um pavimento tem no fim do seu período de vida. É calculado com base no custo do pavimento inicial e o custo de reabilitação do pavimento existente, de modo a que volte a apresentar as características iniciais, tanto do ponto de vista estrutural como funcional. A diferença entre estes dois custos corresponde ao valor residual, apresentado como custo negativo.

Os **"custos dos utilizadores"**, podem ser mais difíceis determinar que os custos da administração uma vez que dependem de vários factores, por vezes com algum grau de incerteza associado.

Definem-se como utilizadores aeronáuticos todos os indivíduos ou empresas prestadoras de serviços que envolvem a operação de aeronaves ou de actividades directamente relacionadas com estas e na

contabilidade de custos em que incorrem os utilizadores, enumeram-se as seguintes parcelas: custo de operação das aeronaves; custo de atrasos; custo dos acidentes e outros custos.

Custo de operação das aeronaves: deve ser considerado tendo em conta, o tipo e estado de conservação da aeronave, o tipo da camada de desgaste, e a irregularidade da pista. Sabe-se, por exemplo, que a rugosidade da superfície de um pavimento tem influência na resposta dinâmica de uma aeronave. Segundo dados recolhidos pela Boeing Aircraft Co., os efeitos da fadiga numa aeronave variam exponencialmente com a aceleração vertical como mostra a Figura 4.4.

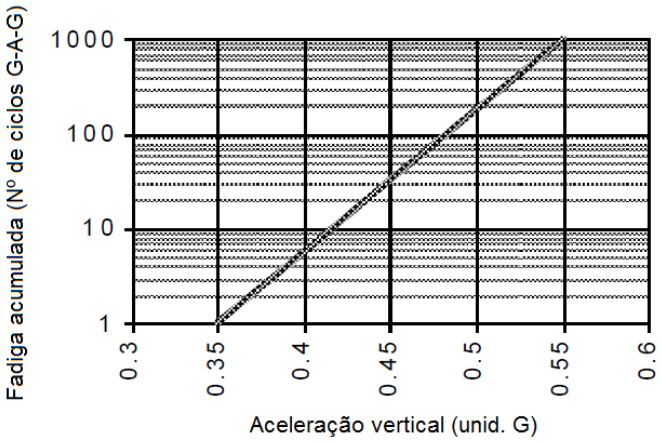


Figura 4.4 – Efeito da aceleração, provocada pela rugosidade da pista, na fadiga da aeronave, [adaptado de (Gervais, September 1991)].

Custo de atrasos (*Air delay*, *Passenger delay*): contabilizam-se na sequência de atrasos impostos pelo tempo de operação da aeronave (*air delay*) e atrasos impostos pelos passageiros (*passenger delay*). O *air delay* é essencialmente função da capacidade do "Lado Ar" do aeroporto no que diz respeito à frequência das partidas e tempos de escala das rotas aeronáuticas. Esta componente deve também incluir os custos com o tempo adicional imposto por eventuais trabalhos de conservação. O *passenger delay* é função do comportamento do passageiro e leva a tempos de permanência adicionais das aeronaves nas plataformas de estacionamento. Para além do custo adicional de permanência, podem ser tidas em conta externalidades como o ruído e a degradação da qualidade do ar originada pela queima extra de combustível.

Custo de acidentes: inclui os custos com acidentes pessoais (mortais ou não mortais) e com danos materiais. Uma forma de contabilizar estes custos é identificar quais os parâmetros influentes ao nível de acidentes e o custo decorrente da mitigação destes factores.

Outros custos: englobam as externalidades mais importantes geras pelo sector aéreo como a perturbação por ruído e as emissões poluentes. Estas emissões produzem dois tipos de impactos: (i) sobre o aquecimento global (mudança climática), maioritariamente durante a fase de cruzeiro e (ii) sobre a qualidade do ar, particularmente durante o ciclo de aterragem e descolagem. Na envolvente

dos aeroportos, as externalidades mais relevantes são por isso a perturbação por ruído e a poluição do ar por emissão de gases poluentes.

Numa investigação sobre fiscalidade no sector aéreo (Keen, 2007) concluiu-se que o custo das externalidades deve assentar numa combinação de taxas sobre o combustível e de outras taxas incorporadas nos próprios bilhetes. Desta forma, os custos ambientais transformar-se-ão em custos para os utilizadores que podem ser contabilizados na análise económica do ciclo de vida dos pavimentos.

b. Análise de Sensibilidade aos Factores de Custo

Quando se pretende seleccionar uma alternativa, entre várias, resultante da avaliação económica, é aconselhável perceber quais os efeitos produzidos pela variação de determinados factores de custo. A identificação dos factores críticos e dos factores pouco relevantes pode ser essencial para responder a questões como as que se seguem (Branco et al., 2006):

- Qual a sensibilidade dos resultados da avaliação económica às variações dos parâmetros incertos (não satisfatoriamente caracterizados ou definidos)?
- Deverão estes parâmetros justificar a selecção de uma alternativa não correntemente utilizada?
- Qual deverá ser a variação de um parâmetro para determinar a decisão da escolha da alternativa A relativamente à B?

Esta avaliação torna-se particularmente necessária quando existem duas alternativas muito semelhantes entre si. O tráfego, o período de análise, o custo de conservação, os custos dos utilizadores e a taxa de actualização[6], poderão ser factores a considerar num estudo de sensibilidade.

4.2.10 Desenvolvimento do Programa de Conservação dos Pavimentos

O último processo operativo de SGPA é o desenvolvimento de um programa de conservação dos pavimentos. Para concluir este objectivo é necessário definir prioridades e traçar estratégias de conservação.

4.2.10.1 Prioridades de Conservação

Regra geral, um dos problemas com o qual os responsáveis da administração aeroportuária se confrontam é a insuficiência de recursos financeiros para manter toda a rede (ou redes) de pavimentos com o nível de qualidade desejável, sendo muitas vezes necessário tomar decisões

[6] Quando se trata de uma análise de investimentos deve ter-se em conta a taxa de actualização, uma vez que esta afecta a rentabilidade do projecto, sobretudo os *cash-flows* de exploração do projecto.

quanto aos trechos a serem beneficiados em detrimento de outros. Desta forma é necessário atribuir prioridades às intervenções de conservação mediante os recursos disponíveis e os benefícios[7] alcançados.

Através da utilização de um sistema de gestão, a definição de prioridades de conservação é feita por consideração de todos os factores técnicos e económicos a curto e médio prazo, e da simulação dos efeitos de diferentes estratégias de conservação, através de modelos de comportamento.

Na ausência de instrumentos de simulação pode ser necessário determinar prioridades de uma forma mais simples e racional, considerando apenas alguns factores como o estado de conservação (estrutural e funcional) dos pavimentos da rede; a classe funcional dos vários troços da rede e o tipo de tráfego a que estão sujeitos.

Com estas ferramentas será possível determinar os investimentos necessários face a determinados padrões de qualidade e a determinados recursos disponíveis, beneficiando tanto a administração como os utilizadores aeronáuticos.

4.2.10.2 Desenvolvimento de Estratégias de Conservação

Conhecendo o estado do pavimento em cada fase da sua vida e a evolução futura previsível (a partir de modelos de comportamento), pode definir-se um determinado número de tipos de acções de conservação a aplicar em determinada sequência e fases da vida do pavimento, de acordo com a estratégia adoptada. Para o mesmo trecho de pavimento, são comparadas estratégias alternativas de conservação, conduzindo à determinação da estratégia óptima por parte do sistema.

Vulgarmente diz-se que as estratégias de conservação podem ser preventivas ou curativas. No primeiro caso actua-se ao nível da conservação do pavimento assim que são detectadas as primeiras deficiências estruturais e/ou funcionais do mesmo. No segundo caso são efectuadas acções de conservação apenas quando a degradação do pavimento já atingiu um nível obrigatório de intervenção.

Com vista à obtenção da estratégia de conservação óptima, são determinados custos e benefícios de cada uma das opções, estabelecendo correlações entre o estado do pavimento e os diferentes custos. Esta análise pode ser fixada por critérios de rentabilidade ou tendo em conta outros factores, como por exemplo os factores técnicos. Adoptado(s) o(s) critério(s) de selecção, é determinado o conjunto de acções de conservação, face aos recursos disponíveis, tendo em vista os padrões de qualidade determinados e o mais baixo custo.

[7] O conceito de "benefício" relaciona-se com o objectivo da infraestrutura (Pereira et al., 1999[a]), que no caso dos pavimentos aeroportuários, é o de permitir uma circulação cómoda e segura com o menor custo possível para os utilizadores.

Através de modelos estatísticos ou probabilísticos é possível prever a evolução do pavimento em função da estratégia adequada. Por vezes, quando os modelos utilizados não apresentam a fiabilidade necessária, associam-se probabilidades à evolução do comportamento do pavimento através de uma "árvore de decisão" (Paterson, 1987).

A comparação de estratégias alternativas para cada situação é feita através de um algoritmo que, apoiado num determinado método e avaliação económica, determina o valor relativo de cada estratégia de acordo com os critérios de decisão. Por fim, a estratégia óptima é aquela que, entre as consideradas no processo de avaliação económica, maximiza o investimento a realizar, face às restrições existentes.

O processo de optimização é feito a dois níveis: ao nível de rede e ao nível de projecto. Ao nível de rede o sistema de optimização deve permitir esclarecer as seguintes questões (Branco et al., 2006):

- Quais os recursos financeiros necessários para manter os pavimentos acima de um determinado nível de qualidade especificado, ao longo do respectivo ciclo de vida?
- Qual a repercussão, em termos de necessidades financeiras, de um incremento da qualidade da rede?
- Face a uma redução do orçamento disponível, qual poderá ser o nível de qualidade da rede e as consequências futuras dessa diminuição de qualidade?

Ao nível de projecto, o sistema de optimização deve permitir:

- Avaliar as alternativas para cada trecho da rede.
- Actuar de modo a manter cada trecho da rede com a qualidade mínima especificada previamente.
- Definir preferencialmente estratégias de conservação periódica preventiva, cujos custos serão inferiores aos resultantes da conservação curativa.

4.2.10.3 Programa de Conservação

Com a definição do programa de conservação, completa-se o ciclo do SGPA. O programa de conservação define o tipo de intervenção, devidamente localizada no espaço e no tempo, para cada trecho da rede e os pormenores de execução. A correcta referenciação ao longo da rede das acções de conservação realizadas ao longo do tempo é essencial para estudos posteriores como os de avaliação do comportamento.

Durante a fase de implementação do programa de conservação, toda a informação necessária à compreensão do comportamento futuro dos pavimentos deve ser registada, em particular, informação sobre as características físicas e mecânicas dos materiais utilizados, e as características geométricas

resultantes. A introdução destes novos dados no sistema, permitirá apoiar a melhoria dos modelos de comportamento, tornando-os mais fiáveis para futuras aplicações.

Finda a implementação do programa de conservação, inicia-se a fase de acompanhamento das acções de conservação realizadas, através de uma nova campanha de observação periódica dos pavimentos. A sua realização é importante tendo em conta que permite avaliar a eficácia dos procedimentos e acções efectuadas, contribuindo para uma melhoria da técnica e tecnologia utilizadas.

4.3 Sistemas de Informação Geográfica – SIG Integrados com SGPA

4.3.1 Introdução

A dinâmica incutida nas actividades de gestão e de análise de dados pode depender em grande parte da forma como se visualizam os dados disponíveis. Os SIG são uma excelente ferramenta de consulta e de apoio à decisão na medida em que permitem integrar um enorme conjunto dados e exibi-los através de relações geográficas. Para além de facilitarem a interacção entre dados de natureza diferente, a sua apresentação gráfica representa também uma mais-valia para a compreensão, análise e produção de soluções em sistemas complexos como o sistema de pavimentos aeronáuticos.

Tendo em conta que um SIG é um sistema de referência que pode integrar numa plataforma comum toda a informação relativa aos pavimentos (redes de pavimentos e de infraestruturas relacionadas – drenagem, sinalização, etc.), pode tornar-se efectivamente numa grande ajuda no processo de tomada de decisão.

4.3.2 A Origem dos Sistemas de Informação Geográfica

A crescente necessidade de cruzar informação contida em cartas temáticas respeitante a várias áreas, para se proceder a análises variadas, fez com que análises temáticas individuais dessem origem às chamadas análises integradas (Burrough, 1986).

O suporte de papel apresentou sempre uma série de restrições difíceis de resolver, como por exemplo, o facto de grandes áreas terem de ser representadas em vários mapas, obrigando à sua junção quando era necessário estudar um ponto localizado numa zona comum, ou o facto de um mapa ser um documento qualitativo estático, dificultando a análise espacial quantitativa, sem que fosse necessário recolher informação adicional.

A ideia de utilizar sistemas computacionais na produção de mapas e na elaboração de análises e síntese a partir dos mesmos surgiu pela primeira vez em 1963 pela mão de Howard T. Fisher (Coppock et al., 1991). Mais tarde, a necessidade de ligação entre os dados digitais (*pixels*) obtidos por detecção remota e a cartografia, fez com que surgissem os novos instrumentos conhecidos como sistemas de informação geográfica. Por conseguinte, os SIG podem ser considerados como um ponto de chegada na evolução das várias aplicações dirigidas ao mapeamento, à análise espacial e à captura de dados automatizada (Burrough, 1986). O surgimento dos SIG passou a permitir integrar, gerir e analisar diferentes tipos de informação geográfica, tal como, mapas, imagens e textos.

4.3.3 Definição dos Sistemas de Informação Geográfica

Originalmente, um Sistema de Informação Geográfica – SIG ou *Geographic Information System* – GIS é um sistema de hardware, software, informação espacial e procedimentos computacionais que permite e facilita a análise, gestão ou representação do espaço e dos fenómenos que nele ocorrem.

Para compreender a definição geral de SIG, é importante estabelecer a relação entre estes sistemas e outros sistemas computacionais nomeadamente, o desenho assistido por computador (CAD), a cartografia automática, a gestão de bases de dados e a detecção remota. Pode afirmar-se que os SIG são um subconjunto ou super conjunto de todos estes sistemas (Maguire, 1991), como ilustrado na Figura 4.5.

Figura 4.5 – Relação entre o SIG e outros sistemas, [Adaptado de (Maguire, 1991)].

Os sistemas de CAD foram concebidos para desenhar objectos num ambiente gráfico. Não têm grandes ligações a bases de dados e também não são capazes de estabelecer relações topológicas[8].

[8] A topologia é um ramo da matemática que exprime e estuda as relações ou ligações entre objectos ou conjuntos de objectos. A sua aplicação aos SIG permite identificar e medir relações de pertença, de vizinhança e de conectividade.

Os sistemas de cartografia automática estão focalizados para a captura, classificação e simbolização automática (Cowen, 1990). A sua ênfase é mais na visualização de informação, através da produção de mapas, do que na captura ou análise de informação e embora produzam saídas de grande qualidade em formato vectorial, não possuem capacidades topológicas.

Os sistemas de gestão de bases de dados são softwares capazes de capturar e armazenar dados não espaciais (alfanuméricos). Permitem efectuar vários tipos de pesquisa a esses mesmos dados, tendo, no entanto, grandes limitações para realizar operações analíticas espaciais.

Os sistemas de detecção remota, concebidos para receber, armazenar, manipular e visualizar dados em formato *raster*[9] (obtidos a partir de *scanners* montados em aeronaves ou satélites), tem capacidade limitada para lidar com informação vectorial e realizar verdadeiras análises espaciais.

Todos estes sistemas têm em comum o facto de serem anteriores aos SIG e de, em conjunto, lhe terem dado origem. No entanto convêm referir que os SIG têm características que não se encontram nestes sistemas tais como as suas capacidades para manipular uma grande quantidade de informação espacial variada e associá-la a informação de carácter não espacial, pelo recurso a métodos de análise específicos.

Um SIG pode decompor-se nos seguintes subsistemas, a saber:

- subsistema composto pelos dados codificados e o processamento da entrada desses dados, capaz de operar com um ou mais tipos de informação geográfica (mapas, imagens de sensores remotos, Quadros de dados e texto);
- subsistema que permite a gestão de dados e a sua recuperação (geralmente base de dados relacional);
- subsistema de análise de dados (estatística e modelação);
- subsistema de visualização dos dados capaz de originar vários tipos de *outputs*, gráficos e não-gráficos;
- subsistema de gestão constituído pelo corpo técnico necessário à construção e implementação do sistema;
- subsistema constituído pelos seus utilizadores.

Fundamentalmente, pode dizer-se que um SIG é composto por quatro tipos de elementos que operam num contexto institucional: o hardware, o software, a base de dados, e as pessoas responsáveis por construir, implementar e utilizar o sistema (Maguire, 1991).

Os SIG dispõem de uma base de dados com informação geográfica (dados alfanuméricos) que se encontra associada por um identificador comum aos objectos gráficos de um mapa digital. Pode

[9] Dicionário de Termos Informáticos: *Raster unit* – Unidade de trama; *Raster display device* – dispositivo de visualização por quadricula; *Raster Graphics* – Computação gráfica por quadrícula.

saber-se o valor dos atributos (nome, comprimento, largura, tipo, etc.) dos objectos assinalando-os no mapa, e inversamente, seleccionando um registo na base de dados é possível saber a sua localização num mapa. Relações espaciais de um objecto relativamente a outro ou a data da última actualização (tempo) são também elementos principais da informação geográfica gerada pelo sistema.

Num SIG, a informação é acomodada em diferentes camadas temáticas de forma independente permitindo ao utilizador relacionar a informação existente de forma fácil e simples, com o intuito de gerar nova informação.

Os modelos mais comuns em SIG são o modelo *raster* ou matricial e o modelo vectorial. O modelo matricial centra-se nas propriedades do espaço, compartimentando-o em células regulares (*pixel*). Cada célula representa um único valor. Quanto maior for a dimensão de cada célula, menor é o detalhe na representação do espaço geográfico, logo menor é a resolução. Já no modelo vectorial, o foco das representações centra-se na precisão da localização dos elementos no espaço. Para modelar digitalmente uma qualquer entidade utilizam-se três formas espaciais: o ponto, a linha e o polígono.

Os SIG permitem compatibilizar a informação proveniente de diversas fontes, como informação de sensores espaciais (detecção remota), informação recolhida com GPS ou obtida com métodos tradicionais de topografia e assumem um papel relevante nas questões de:

- localização (inquirir características de um lugar concreto);
- condição (cumprimento ou não de condições impostas aos objectos);
- tendência (comparação entre situações temporais ou espaciais distintas de alguma característica);
- modelos (geração de modelos explicativos a partir do comportamento observado de fenómenos) entre outros.

4.3.4 A Importância da Informação Georreferenciada e dos SIG na Gestão dos Pavimentos Aeronáuticos

Um dos grandes desafios que as organizações actuais enfrentam, nomeadamente as organizações aeronáuticas, é a capacidade de gerir, partilhar e actualizar os dados que dispõem de forma eficiente e segura.

O uso de sistemas de informação geográfica em aeroportos tem crescido nos últimos anos e uma das novas práticas na gestão de infraestruturas aeronáuticas é a combinação da utilização de GPS, nas operações de conservação, com tecnologia SIG, permitindo uma melhor coordenação e gestão das actividades aeronáuticas (McNerney et al., 1995).

Em grande parte dos aeroportos, um dos maiores problemas enfrentados é custo associado ao fecho de uma pista para manutenção e o problema de capacidade gerado, em termos de movimentos por pista. Por exemplo, uma das vantagens da aplicação dos sistemas de informação geográfica na gestão dos pavimentos aeronáuticos é a sua capacidade de redução de custos directos e indirectos associados a estas actividades (McNerney et al., 1995).

A integração de um SIG com os subsistemas de um SGPA pode fornecer vantagens variadas, entre as quais:

- exibição gráfica de mapas contendo a rede de pavimentos e a avaliação da condição do pavimento (por exemplo, em termos do índice de condição do pavimento PCI), de trechos seleccionados;
- exibição gráfica de mapas contendo outras redes importantes para a gestão de pavimentos, tais como: as redes de drenagem, iluminação e sinalização luminosa, sinalização diurna, etc., e respectiva caracterização;
- exibição gráfica e caracterização de externalidades (poluição atmosférica, produção de ruído).
- geração de arquivos de entrada para os módulos de análise do SGPA, extraindo os dados relevantes da avaliação do pavimento;
- criação de uma interface entre um programa SIG e o SGPA, em que o SIG é utilizado como plataforma para a construção e operação de modelos de análise;
- exibição gráfica dos resultados dos módulos de análise do SGPA e produção de saídas gráficas que podem ser incluídas nos relatórios do SGPA.

5. Caso de Estudo

5.1 Introdução

A elaboração desta dissertação não estaria completa se não fosse devidamente apoiada por um caso prático. A escolha recaiu no panorama nacional, em particular, sobre o Aeroporto Internacional de Lisboa, o maior e mais antigo aeroporto português de aviação civil.

O facto de existirem poucas referências em Portugal sobre a implementação e operação de sistemas de gestão de pavimentos aeroportuários e o conhecimento de que o Aeroporto Internacional de Lisboa era possuidor de um destes sistemas, detendo por isso experiência na sua operação, foram aspectos determinantes para a escolha do caso de estudo.

Ao longo deste capítulo é feita uma descrição geral do aeroporto e são apresentados os dados relevantes para compreensão da infraestrutura e da sua operacionalidade. Focam-se também os aspectos necessários à operação de um SGPA num aeroporto com as características de Lisboa, sempre que possível, apoiados e documentados por dados concedidos pelo próprio Aeroporto.

5.2 Apresentação do Aeroporto Internacional de Lisboa

5.2.1 Descrição Geral

O Aeroporto Internacional de Lisboa, cuja planta pode ver-se na Figura 5.1 e no ANEXO III em maior detalhe, localiza-se 7 km a Norte do centro de Lisboa e dispõe no total de 516 hectares, dos quais 412 hectares pertencem ao concelho de Lisboa e os restantes 104 hectares ao concelho de Loures. O “Lado Ar” tem aproximadamente uma área pavimentada de 1.500.000 m^2 na qual se incluem as pistas 03-21 e 17-35, com orientação magnética real de 028º/208º e 174º/354º respectivamente, 42 caminhos de circulação e 16 plataformas.

O primeiro projecto do ALS, que data do ano de 1936, inaugurado e oficialmente aberto ao público a 15 de Outubro de 1942, desde cedo sofreu obras de ampliação e de remodelação para responder ao aumento de tráfego sucessivo (ANA, 1992). O primeiro Plano de Ampliação do Aeroporto foi aprovado em 1959, tendo como objectivo adaptar a infraestrutura à operação da nova geração de aviões a jacto da altura. Desde então o ALS tem sofrido constantes alterações que visam a melhoria das infraestruturas aeroportuárias. A 28 de Novembro de 2006 foi apresentado o último Plano de Expansão que prevê satisfazer os requisitos de tráfego, até ao ano de 2017 (altura em que se prevê a entrada em funcionamento do novo Aeroporto de Lisboa), aumentando a sua capacidade para 40

movimentos por hora (actualmente com 34 movimentos por hora) e 17 milhões de passageiros por ano (actualmente com 13 milhões anuais) (Agência, 2010).

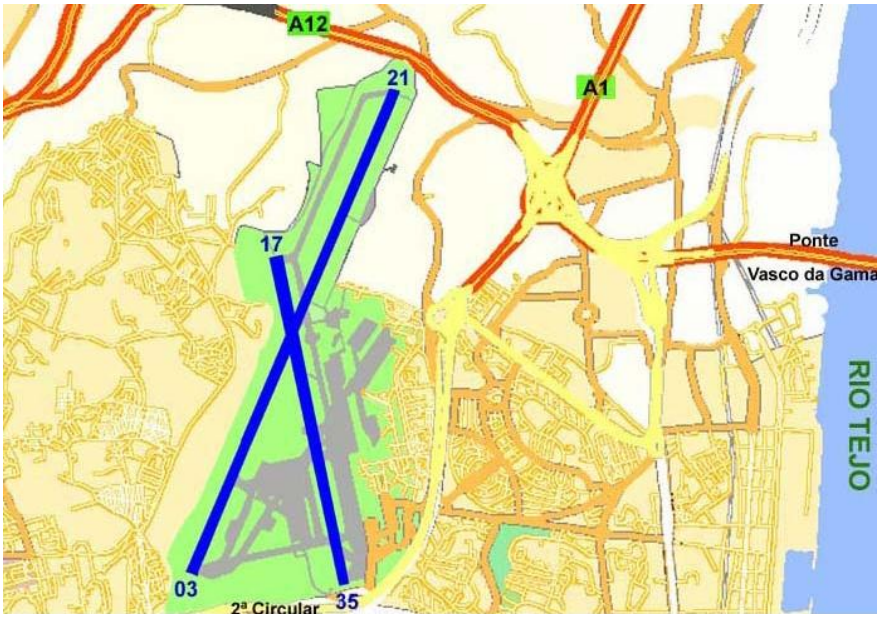


Figura 5.1 – Mapa do Aeroporto de Lisboa (ALS).

Consequência das diversas alterações que têm vindo a decorrer no ALS, no âmbito do Plano de Expansão; nomeadamente no "Lado Ar" com a construção de novos caminhos de circulação, plataformas, etc; muitos dos dados referentes aos pavimentos são dados aproximados, uma vez que estão em curso várias actualizações decorrentes de projectos recentes.

5.2.2 Tipo de Tráfego Aéreo

O número e o tipo de aeronaves que circulam num aeródromo condicionam a evolução do estado de conservação dos pavimentos. Como tal, compreender as características de tráfego é fundamental para a análise e previsão do comportamento dos pavimentos. A caracterização do tráfego acrescenta inputs importantes na construção de modelos de evolução dos diferentes tipos de degradações, sendo determinante ao nível estrutural para o cálculo do PCN e para a determinação da vida residual dos pavimentos.

O tráfego de aeronaves pode subdividir-se em duas grandes tipologias: tráfego comercial e tráfego não comercial (composto por aeronaves de estado, militares, entre outras).

No ALS, o tráfego comercial constitui grande parte do número de movimentos existentes. Entre 1999 a 2009, verificou-se que o tráfego comercial representava em média 96% do total de movimentos registados, sendo que apenas 4% do tráfego era não comercial, como pode ver-se pelo Figura 5.2.

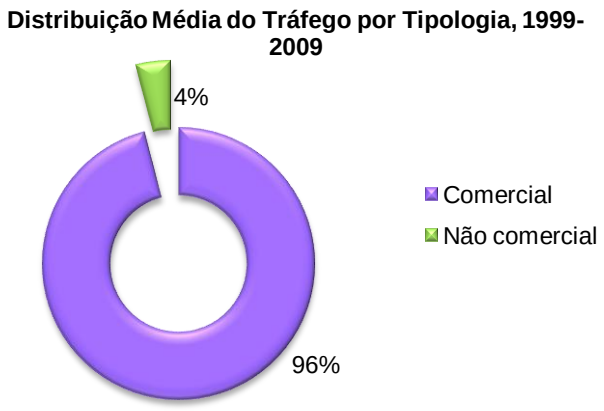


Figura 5.2 – Distribuição média do tráfego por tipologia [com base em dados (ANA, 2010)].

De 1999 a 2007 verificou-se um aumento sucessivo do número de movimentos totais (comerciais e não comerciais), tendo-se registado nesse último ano, um total de 144 800 movimentos. A partir de 2007, o número de voos totais começou a decrescer. Em 2009 contabilizaram-se apenas 136 286 movimentos, menos 8 514 que em 2007 (ver Figura 5.3).

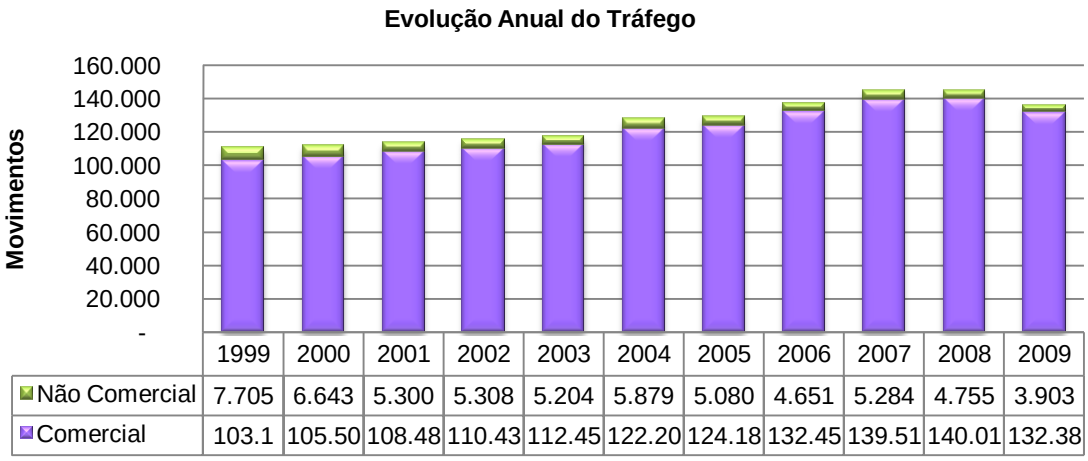


Figura 5.3 – Número de movimentos por tipologia [com base em dados (ANA, 2010)].

Entre os vários tipos de aeronaves que se movimentam no ALS, destacam-se os modelos com maior número de movimentos totais registados em 2009 e 2008, apresentados na Figura 5.4. Como se pode ver no Detalhe 1 da mesma figura, as aeronaves A319 e A320 perfazem 60% do total de movimentos registados, entre aterragens e descolagens nas várias pistas.

A utilização das pistas não é equitativa, por questões que se prendem com o seu layout e com as condições meteorológicas predominantes. No Manual AIP a pista 03-21 é dada como preferencial para o movimento de aeronaves.

Como já foi anteriormente mencionado, o ALS dispõe fisicamente de duas pistas. No entanto, em termos operacionais, cada uma destas pistas está subdividida em duas partes, resultando na existência de quatro pistas operacionais: a pista 03, 21, 17 e 35.

Analisando os movimentos do tráfego comercial relativos ao ano 2009 e 2008 na Figura 5.5, pode constatar-se que grande parte das aeronaves utiliza a pista 03. Só em 2009, chegaram ao ALS, mais de 50 mil aeronaves, em voos comerciais, e partiram mais de 56 mil utilizando a pista 03. O facto de, na maior parte do ano, os ventos que se fazem sentir no aeródromo do ALS soprarem de Norte, leva a uma maior utilização desta pista.

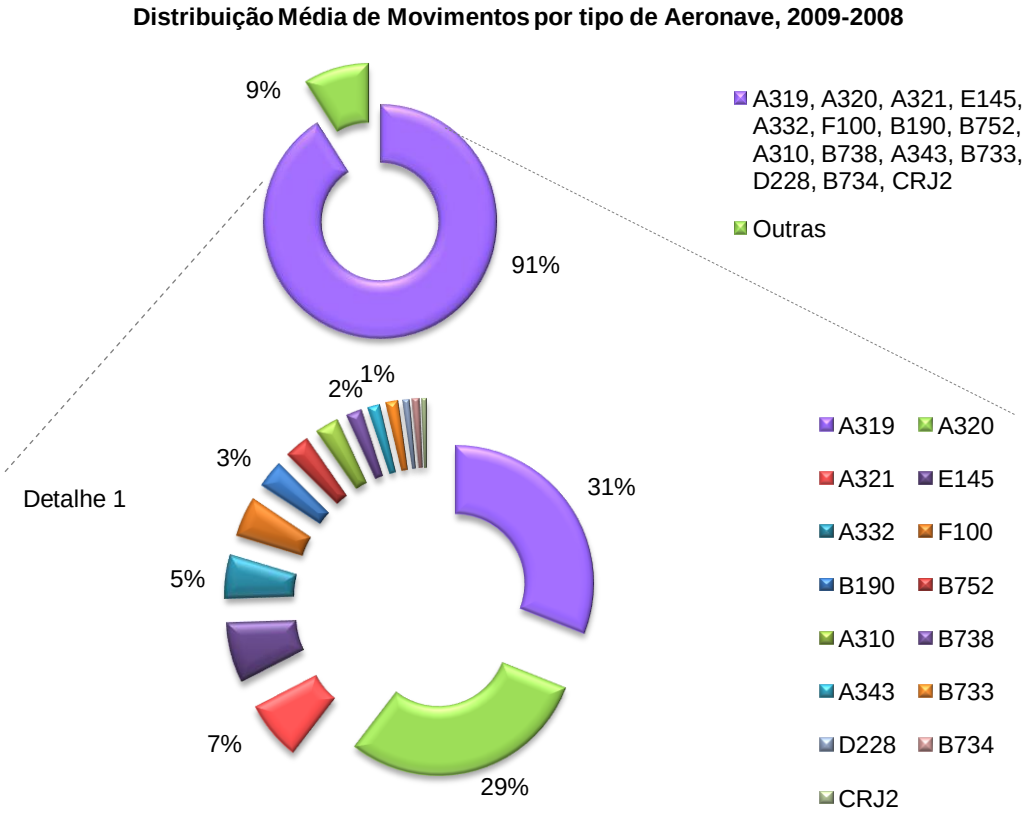
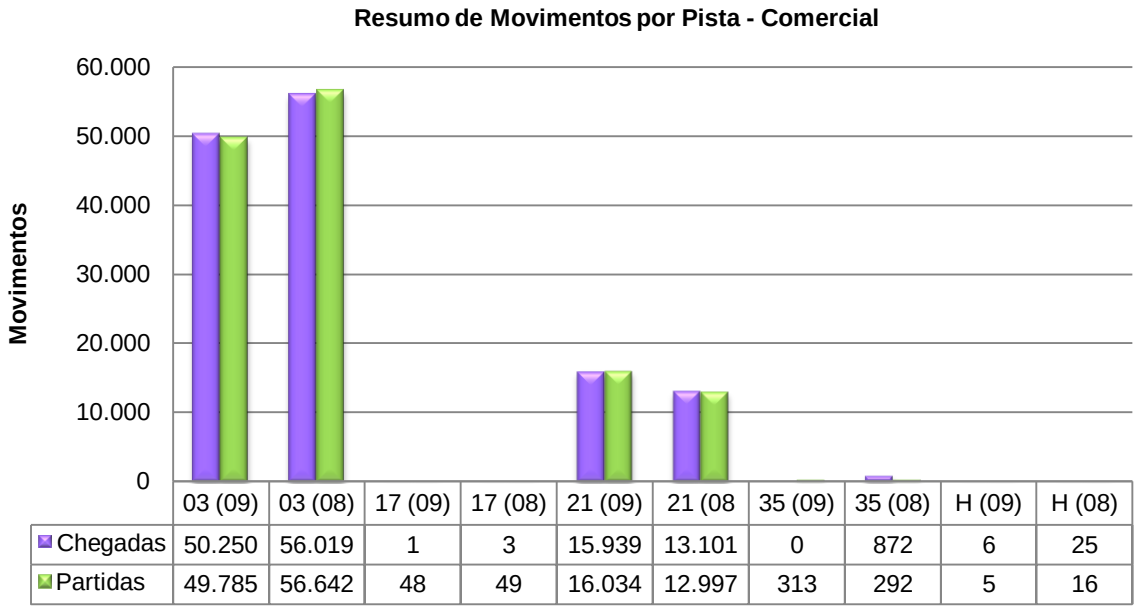


Figura 5.4 – Distribuição percentual média de movimentos por tipo de aeronave em 2009 e 2008.

A pista 21 é a segunda pista com maior número de movimentos executados durante os anos de 2008 e 2009 (ver Figura 5.5), com registo de cerca de 16 mil chegadas e igual número de partidas em 2009. Esta pista é mais utilizada em condições de visibilidade reduzida, LVO (*Low Visibility Operations*) e/ou, quando os ventos predominantes sopram de Sul.

As pistas 35 e 17 registam movimentos pouco expressivos (ver Figura 5.5), uma vez que são utilizadas maioritariamente em condições meteorológicas especiais como a existência de ventos cruzados, mais frequentes no pico do verão, ou devido a operações de manutenção nas restantes pistas.

A pista H está classificada como pista de helicópteros, no entanto o ALS não dispõe de um espaço físico próprio para o efeito. A sua referência serve apenas para registar o número de movimentos efectuados por helicópteros (Figura 5.5).



	03 (09)	03 (08)	17 (09)	17 (08)	21 (09)	21 (08	35 (09)	35 (08)	H (09)	H (08)
Chegadas	50.250	56.019	1	3	15.939	13.101	0	872	6	25
Partidas	49.785	56.642	48	49	16.034	12.997	313	292	5	16

Figura 5.5 – Resumo de movimentos por pista do tráfego comercial.

5.2.3 Pavimentos

As pistas 03-21 e 17-35 do ALS têm 45 m de largura, bermas de 7,5 m, 3.805 e 2.400 m de comprimento respectivamente. A pista 03-21 tem soleiras deslocadas em ambos os topos, a 90 e 600 m respectivamente. A pista 17-35 dispõe de soleira deslocada a 150 m do topo 35. Ambas possuem uma área de segurança RESA (*Runway End Safety Area*).

O Aeroporto agrega diversos tipos de caminhos de circulação de aeronaves: os caminhos de circulação de estacionamento, que asseguram a ligação entre os vários sectores do "Lado Ar"; os caminhos de circulação de plataformas, exclusivas para entrada e saída dos "*stands*"[10]; e os caminhos de saída rápida de pista (*RESA*), que facilitam a saída rápida de pista das aeronaves após a aterragem. No total contabilizam-se 42 caminhos de circulação.

De um modo geral, as pistas e os caminhos de circulação são constituídos por pavimentos flexíveis. Existem 16 plataformas cuja maior parte é constituída por pavimentos em betão de cimento, devido à capacidade deste material para suportar derrames de hidrocarbonetos sem se degradar. Destas, apenas a plataforma 80, a plataforma polivalente e parte da plataforma 70, são constituídas por betão betuminoso, pertencendo à classe de pavimentos flexíveis.

[10] *Stand* – Local de parqueamento de aeronaves.

Na Figura 5.6 pode ver-se a distribuição por classe dos pavimentos operacionais, num mapa gerado pelo *Airpave* (software de gestão de pavimentos utilizado actualmente pelo Departamento de Manutenção de Pavimentos da ANA).

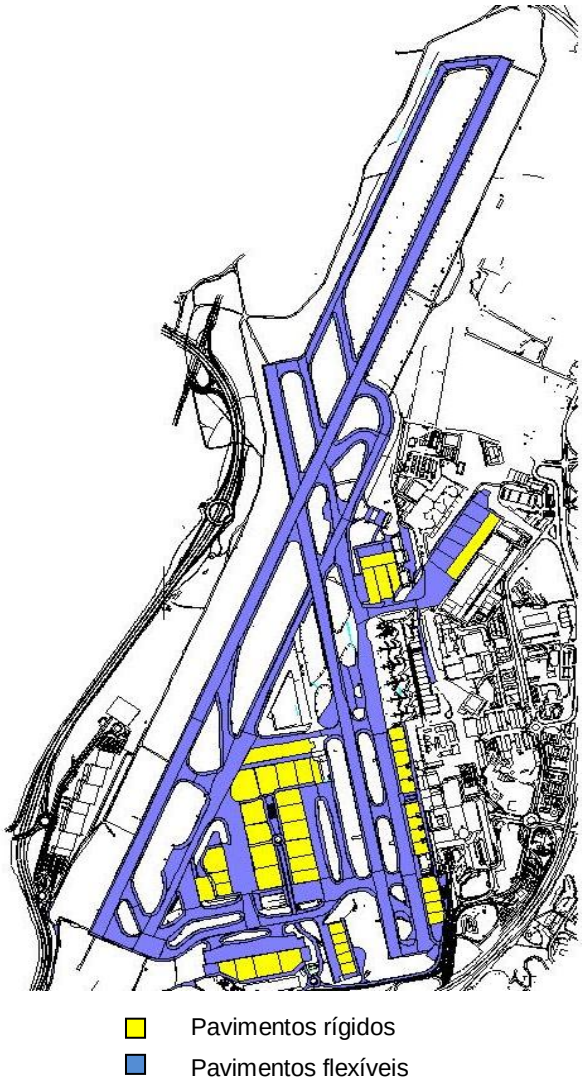


Figura 5.6 – Mapa da distribuição dos pavimentos operacionais por classe (*Airpave*).

De acordo com as classes de pavimento, as áreas operacionais assinaladas na Figura 5.6 distribuem-se da forma representada no Quadro 5.1.

Quadro 5.1 – Distribuição das áreas operacionais de acordo com a classe de pavimento.

Classe de Pavimento			Total Área Operacional
Aeroporto de Lisboa	**Rígido (m^2)**	**Flexível (m^2)**	**Total (m^2)**
	240.697,97	852.777,43	**1.093.475,40**

Para além de pavimentos rígidos e flexíveis, existem também alguns pavimentos semi-rígidos ou compostos no ALS, no entanto não pertencem à área classificada pelo *Airpave*.

Dados os anos de existência do ALS, e as inúmeras transformações que tem sofrido ao longo dos anos, pode dizer-se que os seus pavimentos não obedecem a um perfil transversal tipo. As acções de reabilitação e reconstrução realizadas ao longo dos anos foram modificando a sua estrutura, de tal modo que, a uma pista, caminho de circulação ou plataforma, podem estar associados diferentes projectos estruturais atendendo às espessuras das camadas e materiais constituintes. A título de exemplo, no ANEXO III apresenta-se o perfil transversal tipo do caminho de circulação Quebec "Q" cedido pelo Departamento de Manutenção do ALS.

5.2.4 Outras Características

O nível de serviço dos pavimentos e a segurança de circulação que oferecem podem ser influenciados pelo tipo e estado de conservação da sinalização e drenagem existentes.

Tanto a sinalização como a drenagem estão intimamente ligadas aos pavimentos e ao seu bom funcionamento, pelo que a sua caracterização assume um papel relevante na gestão dos mesmos.

5.2.4.1 Drenagem

Uma superfície com fracas características de drenagem contribui para a ocorrência de acidentes resultantes do fenómeno de hidroplanagem, perda de visibilidade e aparecimento de inúmeros tipos de degradações. Para além disso, também é importante garantir que não existe acumulação de água no interior do pavimento uma vez que a sua presença reduz a capacidade de suporte das camadas granulares e do solo de fundação, promovendo ainda a bombagem de finos com a consequente deterioração rápida do pavimento.

A rede de drenagem superficial do "Lado Ar" do ALS é apresentada no ANEXO III. Na Figura 5.7 pode ver-se em pormenor elementos do sistema de drenagem superficial em áreas de movimento.

De modo a melhorar as condições de drenagem superficial, algumas técnicas de projecto são implementadas, tais como as inclinações transversais, a ranhuragem dos pavimentos e a construção de camadas de desgaste porosas. No caso do ALS foi necessário proceder à ranhuragem das pistas 03-21 e 17-35, com o objectivo de aumentar a aderência pneu-pavimento. A pista 03-21 encontra-se ranhurada desde a soleira 03 numa extensão de 940 m (ver Figura 5.8) e a pista 17-35 entre o caminho de circulação M1 (Mike 1) e o cruzamento com a pista 03-21.

Figura 5.7 – Pormenor de sumidouro com rasgo superior (à esquerda) e grelha (à direita) pertencentes ao sistema de drenagem superficial do ALS.

Figura 5.8 – Pavimento ranhurado da pista 03.

Com vista à impermeabilização e rebaixamento do nível freático dos pavimentos de áreas de movimento construídas mais recentemente no ALS, foram contemplados órgãos de drenagem profunda como tapetes drenantes e drenos subterrâneos (Figura 5.9).

Figura 5.9 – Colocação em obra de drenagem profunda em pavimentos do "Lado Ar" do ALS. Tapete drenante à esquerda e dreno subterrâneo à direita.

5.2.4.2 Sinalização

A sinalização do ALS cumpre as recomendações estabelecidas pela ICAO e, como complemento, pela FAA, nos casos em que a ICAO é omissa.

Todas as pistas, caminhos de circulação e plataformas de estacionamento dispõem de sinalização diurna (marcas).

Todas as pistas possuem sinalização luminosa e, a pista 21 integra ainda um sistema de guiamento automático ILS, pertencendo à categoria CAT III definida pela ICAO.

Os caminhos de circulação para além das marcas diurnas, possuem sinalização luminosa no eixo central como ajuda à navegação.

Toda a informação respeitante à sinalização está publicada no manual AIP do ALS. No ANEXO III pode ver-se alguma dessa informação em maior detalhe e a planta da sinalização luminosa do das áreas de movimento.

5.3 Recolha de Informação

A recolha de informação dos pavimentos é essencial para a sua compreensão, análise e gestão. Os dados devem ser objectivos, confiáveis e actualizados. A combinação de toda a informação técnica relevante permite a construção da base de dados dos pavimentos aeronáuticos, cuja principal função é fornecer a informação necessária, organizada e detalhada que apoiará a tomada de decisão nas questões inerentes à manutenção e reparação dos pavimentos.

5.3.1 Características dos Pavimentos

5.3.1.1 Inventário

O inventário dos pavimentos permite caracterizar os pavimentos quanto à sua estrutura e dividir o aeródromo em secções/unidades de análise semelhantes. A cada um desses elementos deve estar associado o histórico de construção/reparação, juntamente com todas as suas características originais, de modo a criar um mapa referenciado de todas as unidades de análise. Esta metodologia possibilita que os vários elementos de pavimento sejam mais facilmente localizados, facilitando as operações de inspecção e manutenção.

Ao determinar e agrupar os pavimentos por secções/unidades, devem ser tidas em consideração as seguintes características:

- Classe: a classe de um pavimento define o mecanismo de distribuição da tensão sob o mesmo. É comum identificarem-se três classes distintas, rígido, flexível, semi-rígido; sendo que as duas primeiras são as mais comuns em pavimentos aeronáuticos.
- Composição das camadas do pavimento: as estruturas dos pavimentos são projectadas em camadas de materiais progressivamente mais fortes, estando genericamente divididas em camada de desgaste, base, sub-base e leito do pavimento. O tipo de material e espessura de cada camada afectará a resistência do pavimento, bem como seu comportamento.
- Características de drenagem: o teor em água de uma camada de pavimento irá afectar significativamente a sua capacidade de carga e o seu desempenho. Quanto maior for esse teor menor será a capacidade de carga. Se existir drenagem profunda, todas as camadas de pavimento beneficiarão e terão maior resistência. A existência de camadas drenantes deverá ser fortemente considerada aquando da divisão do pavimento em secções.
- Idade do pavimento: devido a variações que se prendem com técnicas construtivas e a qualidade dos materiais, a idade estrutural de um pavimento pode não indicar com precisão o estado ou desempenho do mesmo. No entanto, a idade pode ser usada para categorizá-lo e fornecer uma condição, ainda que relativa, do mesmo.
- Uso: as cargas aplicadas ao pavimento são a força mais destrutiva que este tem de resistir. Áreas sujeitas a maior ou menor carga vão determinar em última instância o tipo de manutenção requerida pelas mesmas. Adicionalmente, as áreas de maior uso requerem manutenção prioritária face a outras.
- Carga permitida – Capacidade de carga do pavimento: o excesso de carga no pavimento pode ser evitado através da identificação e mapeamento das restrições de carga para a rede de pavimentos de um aeródromo. Grandes excedentes de carga no pavimento podem provocar danos estruturais no pavimento cuja reparação implicará um enorme esforço financeiro e logístico a longo prazo. Condicionando o tipo de tráfego à resistência do pavimento consegue-se prolongar as intervenções no tempo e baixar o seu custo.

Para além dos pontos focados, a cada elemento/secção de pavimento deve estar associada informação relevante para a definição de causas de degradações e acções de manutenção futuras. Todo o histórico e dados de inspecções devem ser mantidos e actualizados ao longo dos anos.

5.3.1.2 Condição dos Pavimentos

O impacto do tráfego de aeronaves, juntamente com as condições atmosféricas, tem influência na constante deterioração do pavimento em termos da sua capacidade de carga e das condições de superfície de circulação como o conforto e a segurança.

A caracterização dos pavimentos em termos estruturais e funcionais fornece informação vital para as actividades de manutenção e reparação (como falado ao longo do capítulo 3), pelo que é aconselhável num aeroporto com as características do ALS, a avaliação de parâmetros de estado indicadores da sua condição. A Figura 5.10 ilustra o conjunto de parâmetros que podem ser quantificados tendo em vista esta caracterização.

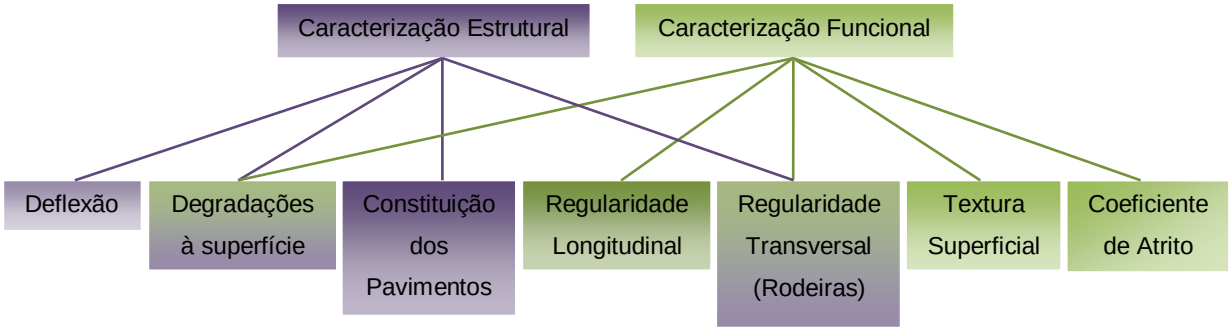


Figura 5.10 – Parâmetros de estado para a caracterização estrutural e funcional dos pavimentos aeronáuticos.

A relação entre a condição estrutural e funcional dos pavimentos é estreita, na medida em que a primeira permite prever a evolução da segunda ao longo dos anos. Alguns dos parâmetros referidos na Figura 5.10 permitem fazer uma avaliação tanto funcional como estrutural dos pavimentos, como é o caso de "defeitos" (degradações) e deformações (rodeiras) exteriorizados na superfície do pavimento.

Os pavimentos aeronáuticos suportam cargas muito elevadas provenientes do tráfego de aeronaves, em especial nas zonas de toque, viragem e travagem. A avaliação da condição estrutural, em termos da sua integridade e capacidade, é fundamental numa estratégia de manutenção preventiva, cujo objectivo é prolongar a longevidade do pavimento sem a manifestação de degradações à superfície.

A integridade estrutural refere-se à presença de descontinuidades nas camadas betuminosas pelo que a observação de degradações e depressões à superfície são fundamentais para a sua avaliação. A capacidade estrutural reflecte a resistência das camadas de pavimento aos efeitos "deteriorantes" causados pela repetição das cargas de tráfego, podendo ser quantificada através do estudo da constituição dos pavimentos e da medição de deflexões.

Em termos funcionais, aspectos como a aderência pneu-pavimento (com especial importância para a segurança de circulação) ou a regularidade do pavimento (sobretudo importante do ponto de vista do conforto), revelam ser as maiores preocupações das entidades aeroportuárias. A observação das degradações à superfície, a medição da textura superficial, do coeficiente de atrito e da regularidade do pavimento, são os parâmetros que melhor quantificam esses aspectos.

Os procedimentos e metodologias necessárias à inspecção e caracterização dos pavimentos, com base nos parâmetros acima mencionados, estão expostos no ANEXO III, atendendo às características do ALS e às práticas regulamentares.

5.3.1.3 Calendarização das Campanhas de Inspecção/Caracterização dos Pavimentos

A manutenção dos pavimentos é um processo contínuo e da responsabilidade da entidade aeroportuária. Um programa de manutenção efectivo e eficaz pressupõe uma calendarização programada de inspecções periódicas e campanhas de ensaios conduzidas por técnicos especializados.

As campanhas de inspecção devem assegurar o controlo e referenciação de todos os elementos analisados, a detecção de áreas problemáticas, e as medidas correctivas recomendas. O seguimento dos elementos inspeccionados deve ser contemplado de modo a garantir que o trabalho de reparação é feito de forma expedita e todos os dados registados.

Embora a organização e o âmbito das actividades de inspecção e de manutenção possam variar em grau e complexidade de aeroporto para aeroporto, existem objectivos gerais que devem ser cumpridos tendo em vista a conservação dos níveis de operação regulamentados e esperados pelos utilizadores, como o conforto e segurança de circulação.

A calendarização das inspecções aos pavimentos deve assegurar a total vistoria duas vezes por ano de todas as áreas, em particular as que não são observadas diariamente, preferencialmente uma vez na Primavera e outra no Outono (em climas temperados). Esta abordagem permite identificar zonas problemáticas e definir estratégias, não só de reparação como, ao nível de ensaios de caracterização que aprofundem as causas das degradações detectadas.

O atrito é um dos parâmetros de estado que mais importância recebe pelas entidades aeroportuárias, já que, os pavimentos das pistas devem proporcionar boa resistência à derrapagem em todos os tipos de condições climáticas. Desta forma, os parâmetros que influenciam a resistência à derrapagem dos pavimentos molhados devem ser observados e quantificados, tais como: a profundidade de textura, depósito de borracha, o estado sinalização diurna (marcas), rodeiras, depressões e desprendimento de material. Tendo em consideração que a inspecção visual não é suficiente para aferir estes parâmetros devem calendarizar-se ensaios que o façam. A norma AC 150/5320 – 12, *Measurement, Construction, and Maintenance of Skid-Resistant Airport Pavement,* proporciona ajuda na frequência e procedimentos a levar a cabo nas campanhas de medição de atrito.

Adicionalmente à inspecção visual e à caracterização do atrito, bem como de parâmetros relacionados, devem calendarizar-se ensaios de carga não destrutivos de modo a avaliar a capacidade de carga dos pavimentos, já que estes vão perdendo as suas propriedades resistentes ao

longo dos anos e sujeitá-los a sobrecargas elevadas pode comprometer a duração da sua vida útil. Tendo em consideração que o módulo de deformabilidade dos solos poderá variar em função da altura do ano, inicialmente pode ser conveniente efectuar ensaios antes e após a estação das chuvas de modo a determinar um factor de correcção para o módulo padrão em época seca, calculado por retro-análise, com vista à caracterização de todos os pavimentos. Após a fase inicial de observação e de confirmação do bom comportamento da estrutura, deve adaptar-se o período de observação à idade da estrutura e às solicitações impostas, uma vez que a deflexão evolui de forma distinta ao longo do período de vida útil da estrutura.

Por último devem considerar-se inspecções periódicas aos sistemas de drenagem superficial e profunda de modo a detectar e corrigir situações anómalas que ponham em causa a segurança de circulação e a manutenção do pavimento. O sistema de drenagem superficial de pistas e caminhos de circulação deve ser inspeccionado idealmente na Primavera, Verão, Outono, Inverno e a seguir a condições meteorológicas extremas, como chuvadas de grande intensidade e duração.

5.3.2 Sistemas de Informação Geográfica – SIG

Um SIG tem, acima de tudo, a finalidade de disponibilizar um instrumento de planeamento e de gestão adequado, capaz de permitir acções voltadas para a conservação, recuperação e modernização das infraestruturas a partir de uma base cartográfica. Uma vez que as suas características e qualidades têm vindo a ser reconhecidas, várias entidades aeroportuárias têm-no integrado na base da gestão dos seus activos, como por exemplo os pavimentos.

O SIG para aeroportos da ANA e da ANAM foi criado com o objectivo de dotar estas administrações aeroportuárias de uma ferramenta de apoio à gestão e ao planeamento do seu território. O cadastro de infraestruturas aeroportuárias tem vindo a ser realizado para os vários aeroportos num conjunto de áreas temáticas divididas entre as entidades “Lado Ar” e “Lado Terra”, com o objectivo de uniformizar dados, reduzir a duplicação de informação e de esforços, reduzir custos e solucionar problemas de forma mais expedita.

Tendo em consideração a quantidade de informação que uma infraestrutura aeroportuária agrega e a sua complexidade, assemelhando-se praticamente a uma pequena cidade, a implementação de um projecto SIG pode demorar vários anos, consumindo de forma considerável meios humanos e financeiros. Embora o Aeroporto de Lisboa, pela sua dimensão e importância, fosse candidato a integrar este projecto, a previsão de construção de um novo aeroporto até 2017 fez com que não fosse inserido neste projecto.

5.3.2.1 Aplicação SIG para Gestão dos Pavimentos "Lado Ar"

No que diz respeito aos pavimentos das áreas de movimento e à sua manutenção, o SIG pode trazer várias vantagens. Em primeiro lugar trata-se de um sistema onde todos os dados estão referenciados a uma localização geográfica; se pensarmos nas dimensões de uma pista vulgar[11], esta característica faz toda a diferença; por outro lado, a cada evento (como seja uma secção de pavimento, uma marca de sinalização, um órgão de drenagem, etc.) está associada toda a informação útil e necessária para a sua gestão/manutenção com a rapidez e facilidade que um sistema destes pode proporcionar.

Embora à primeira vista não pareçam, os pavimentos são infraestruturas complexas, não só porque agregam em si outras infraestruturas mas, porque ao longo da sua vida útil geram um enorme conjunto de dados. É fundamental que estes dados estejam georreferenciados, organizados e inseridos numa base de dados actualizada, totalmente integrada para dar suporte às funções administrativas e de tomada de decisão a todos os níveis na organização. E é nesta medida que os SIG e as tecnologias que lhe estão associadas podem fazer a diferença. As aplicações variam desde operações diárias de preparação das ordens de serviço até reparação/manutenção dos pavimentos, visando permitir a análise comparativa de planos alternativos de desenvolvimento.

Uma vez que o SIG é uma ferramenta que funciona em ambiente coorporativo (web), permite ajustar o fluxo de informação reduzindo a duplicação de esforços, na medida em que os dados são apenas inseridos uma vez numa base de dados centralizada (ao invés de se encontrarem dispersos em várias bases de dados). A informação fica mais amplamente disponível, permitindo que um utilizador (mediante o seu perfil e respectivas permissões) aceda ao conjunto de dados que necessitar e os edite.

No caso do ALS, e à semelhança do que está a ser feito nos restantes aeroportos ANA e ANAM (veja-se o exemplo do Aeroporto de Faro nas Figuras 5.12 e 5.13), o SIG permitiria separar a informação em diferentes camadas temáticas e armazená-las de forma independente.

Conceptualmente, uma Base de Dados SIG que servisse a gestão dos pavimentos do "Lado Ar" do ALS poderia ter a seguinte configuração ilustrada na Figura 5.11:

[11] A Pista mais pequena do ALS (Pista 17-35) tem 2400 m de comprimento por 45 m de largura.

Figura 5.11 – Projecto conceptual de uma base de dados SIG para o ALS.

No âmbito da manutenção dos pavimentos, a organização temática e espacial da informação e o cruzamento de dados pode ser muito útil, pois permite programar com maior rapidez e precisão as campanhas de inspecção/reabilitação relativamente à necessidade dos recursos a empregar (como meios humanos, materiais, temporais e financeiros). Tomando como exemplo a reparação de uma determinada secção de pavimento, é necessário saber se existem outros elementos/eventos concordantes com a secção de análise (tais como sinalização luminosa ou diurna, órgãos de drenagem, e demais) cuja remoção e/ou recolocação sejam necessárias. O conhecimento destas possibilidades, permite optimizar os processos de planeamento e intervenção pelo que beneficiam, não só as equipas de gabinete como as de campo.

À luz dos desenvolvimentos tecnológicos de hoje, é comum dotar as equipas de campo e de inspecção de equipamentos de hardware/software (como PDA's e sistemas de GPS) que integrados com as bases de dados, possibilitam o acesso, visualização e edição dessa informação. Ultrapassada qualquer resistência à mudança que possa existir por parte dos utilizadores, estas ferramentas de suporte digital podem representar um passo em frente no registo de observações/anomalias e na actualização da informação.

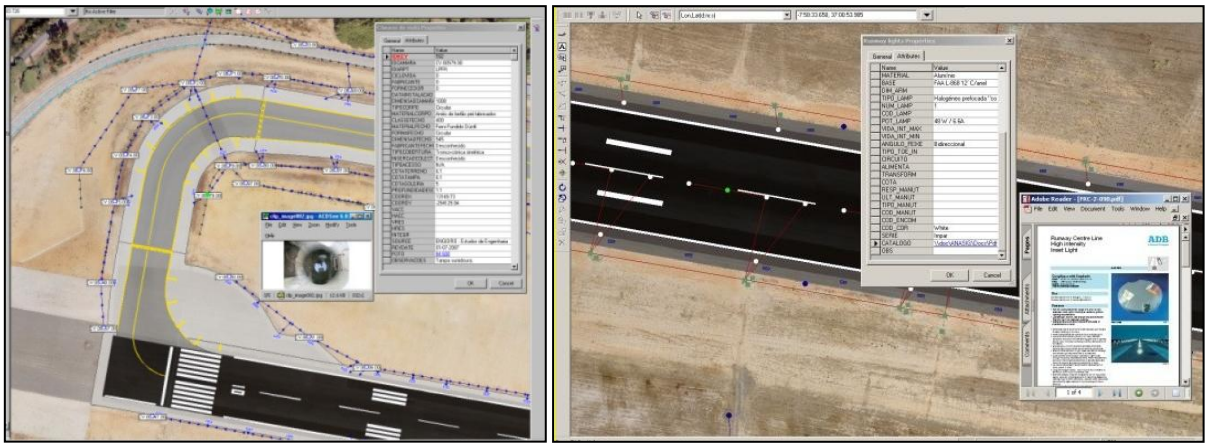


Figura 5.12 – SIG Aeroporto de Faro: redes de drenagem e saneamento à esquerda e redes eléctricas e sinalização luminosa à direita (Imagens cedidas pela Direcção de Infraestruturas Aeroportuárias da ANA).

Figura 5.13 – SIG Aeroporto de Faro: Pavimentos e áreas operacionais à esquerda, sinalização diurna à direita (Imagens cedidas pela Direcção de Infraestruturas Aeroportuárias da ANA).

5.4 Sistema de Gestão de Pavimentos – SGPA

5.4.1 Introdução

Os sistemas de gestão de pavimentos fornecem ferramentas às administrações dos aeroportos para desenvolver planos de manutenção e orçamentos que assegurem a segurança e a operacionalidade das aeronaves que operam a partir dos seus pavimentos. Por este motivo o departamento de manutenção de instalações e infraestruturas aeronáuticas do ALS implementou o sistema de gestão de pavimentos aeroportuários – *Airpave*. A dimensão e longevidade do aeroporto acentuaram a necessidade de adquirir um instrumento que gerisse toda a informação técnica relevante e optimizasse os custos de manutenção associados aos pavimentos.

Qualquer sistema de gestão de pavimentos baseia-se nos conteúdos da sua base de dados. Toda a informação relativa aos pavimentos como dados de projecto; histórico de manutenção, incluindo custos, dados de tráfego, caracterização funcional e estrutural; deve estar armazenada na base de dados. A combinação da informação existente com as capacidades de modelação/previsão do sistema permitir-lhe-á traçar curvas de evolução de degradação dos pavimentos e com base nas mesmas definir acções de manutenção e reabilitação e orçamentá-las. Qualquer estratégia de M&R pode ser definida em função de critérios pré-estabelecidos permitindo a administração optimizar os seus recursos.

5.4.2 Operação do SGPA – A Experiência do Aeroporto de Lisboa

O SGPA – *Airpave* – permite armazenar vários dados relativos aos pavimentos e avaliar a condição dos destes com base na informação recolhida em inspecções visuais. Através do registo das degradações encontradas, é calculado o nível de serviço do pavimento a partir do qual se estabelecem curvas de evolução do seu comportamento e se identificam as necessidades existentes de M&R durante o período de avaliação.

O *Airpave* não utiliza um índice global de avaliação da condição do pavimento reconhecido internacionalmente como, por exemplo, o PCI (descrito na norma *ASTM D 5340*), no entanto, à semelhança deste, classifica os pavimentos com base na avaliação qualitativa e quantitativa das degradações superficiais registadas, ainda que sem recorrer a nenhum tipo de medição, mas apenas com base na percepção visual.

Os modelos de previsão de comportamento de pavimentos de que o *Airpave* dispõe, fundamentais à avaliação da qualidade e à optimização da gestão das acções de conservação a implementar ao longo do tempo, resultam da experiência da *Ramboll*[12] na avaliação estrutural e funcional de pavimentos com diferentes estruturas, em locais diversificados do ponto de vista da sua fundação e sujeitos a diferentes condições de tráfego e de clima.

De modo a reduzir a subjectividade inerente ao exercício da inspecção visual, é recomendável que estas sejam feitas por técnicos experientes e familiarizados com a realidade do aeroporto, como é prática no ALS.

A informação recolhida no local das inspecções ainda não é georreferenciada. Está em fase de aquisição o "*Airpave Mobile*" constituído por um PDA com sistema de posicionamento global GPS que permite associar uma coordenada a um evento que se queira assinalar como seja uma degradação, um elemento de sinalização, drenagem ou um trabalho de reparação. A informação pode ser

[12] *Ramboll* – Empresa Dinamarquesa de Projecto e Consultoria em Engenharia Civil.

directamente descarregada na base de dados sem que seja necessário utilizar qualquer tipo de suporte em papel.

As inspecções são feitas a pé percorrendo a totalidade dos pavimentos com o auxílio de fichas de inspecção emitidas pelo sistema. Na ficha podem identificar-se os vários tipos de degradações existentes segundo o seu nível de gravidade. Ao técnico cabe o papel de indicar a percentagem de pavimento afectada (numa escala de 1 a 4) por cada uma das degradações observadas. No ANEXO III (Figura III.8) pode ver-se o exemplo de uma ficha de inspecção para um pavimento flexível. No final, após a introdução dos resultados na base de dados (Figura 5.14), o programa fica apto a calcular o estado de conservação do pavimento e a traçar estratégias de M&R, providenciando relatórios com o local, a data e o tipo de intervenção a ser realizada durante o período de análise.

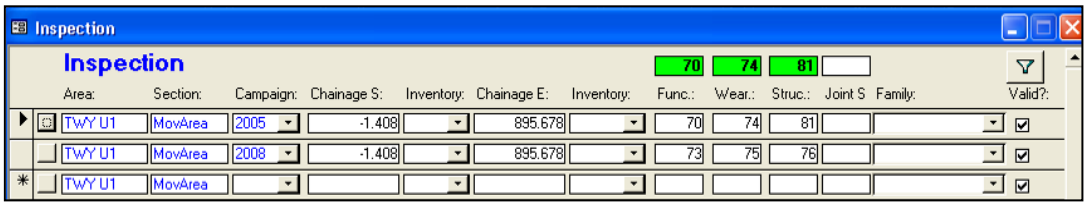


Figura 5. 14 – Janela "Campanha de Inspecção" para introdução e consulta de dados.

O SGPA trabalha sobre um "mapa base" no qual estão representadas as áreas operacionais do Aeroporto (ANEXO III, Figura III.7). Para facilitar as actividades de manutenção e inspecção, todos os pavimentos foram seccionados em unidades de análise menores em função da sua utilização (pistas, caminhos de circulação, plataformas, caminhos periféricos) e da sua classe (rígido, flexível).

Em alguns casos verificou-se que a mesma secção poderia apresentar heterogeneidade relativamente à sua estrutura (espessura das camadas e materiais constituintes), devido a intervenções de M&R recentes. Sendo que, as alterações a nível funcional e/ou estrutural de uma parte da secção relativamente à outra iria distingui-las face ao seu comportamento futuro, foi necessário subdividi-las em unidades distintas chamadas "secções de manutenção".

Devido a questões que se prendem com o software, qualquer alteração que se queira fazer ao seccionamento do mapa base é complicada, uma vez que, modificados os limites de uma secção (unidade de análise) é necessário proceder novamente ao carregamento de toda a informação que lhe estava associada (como dados de projecto, caracterização estrutural, funcional, etc.) tornando todo o processo de actualização de dados moroso. Para contornar esta situação foi introduzido um novo módulo, "Pavement Info", no qual se acrescentaram dois novos mapas com a informação que se queria visualizar. Num mapa as secções foram delimitadas em função de dados de projecto (Figura 5.15) no outro, as secções foram definidas tendo em consideração o resultado de ensaios de caracterização.

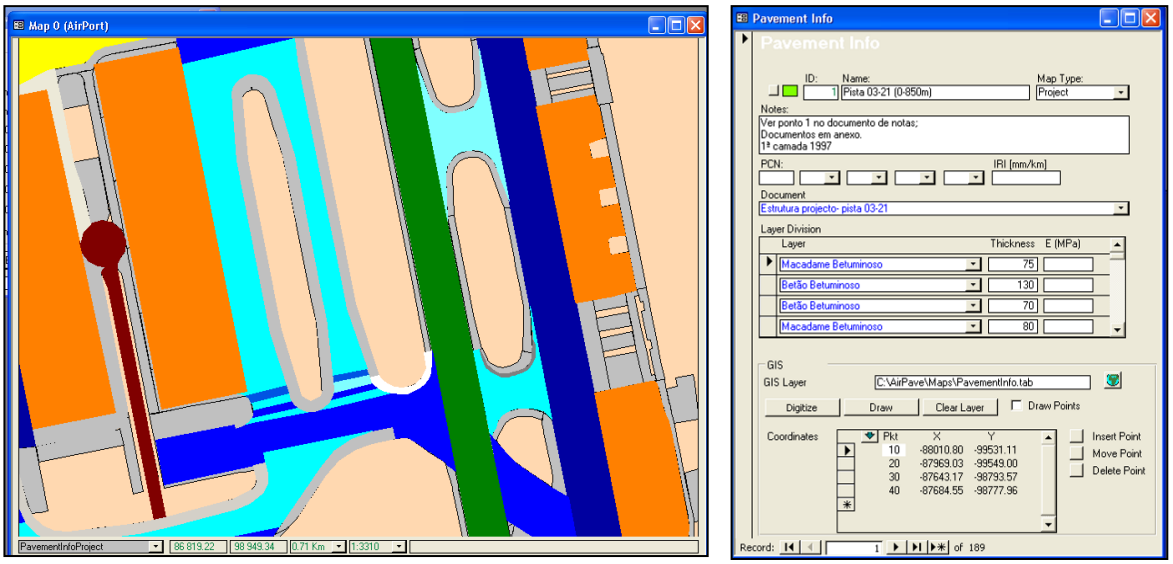


Figura 5.15 – Exemplo de *Print screens* do módulo "*Pavement Info*" com Informação de projecto (Dados cedidos pelo Departamento de Manutenção do Aeroporto de Lisboa).

Após a obtenção e carregamento dos dados das inspecções visuais pode ver-se o estado da rede através de mapas de cores que expressam a condição de cada secção com base nos parâmetros F (*functional*), W (*wearing*) e S (*structural*). O parâmetro F prende-se com as condições de conforto do pavimento, o W com o desgaste e aderência da superfície e o S com a integridade estrutural. Os mapas dão a percepção imediata dos troços/secções de rede cujo nível de serviço está acima, no limite ou abaixo do valor indicado. No ANEXO III, (Figuras III.9, III.19 e III.11) podem ver-se exemplos do estado do pavimento (condição por parâmetro) após inspecção em 2005 no ALS.

O programa dispõe de um menu de "Estratégias M&R" (ver Figura 5.16) onde se faz, a selecção do trabalho de reparação mais adequado à situação, ao mesmo que tempo que são simuladas curvas teóricas de condição (degradação) dos pavimentos ao longo do tempo. As curvas são afectadas pelas degradações registadas durante a inspecção e pelas escolhas de M&R feitas pelo utilizador. Num ficheiro excell podem ver-se as curvas F, W e S (como mostrado na Figura 5.17). O nível de serviço, predefinido de raiz, serve de referência à estratégia de conservação a adoptar.

Chegar à solução óptima implica proceder à avaliação financeira de vários cenários e escolher aquele que maximiza o investimento face às restrições impostas. Esta análise, entre várias coisas, pressupõe constituir uma base de dados com toda a informação relativa a materiais comummente usados em acções de M&R, o seu custo individual e o custo global relativamente a cada uma das técnicas usadas de modo a chegar a uma estimativa.

O módulo financeiro do *Airpave* não tem sido explorado pelo departamento de manutenção do ALS. O consumo de tempo e de recursos humanos (actualmente envolvidos noutros projectos) necessários à reunião de toda a informação e carregamento da base de dados tem adiado a sua utilização.

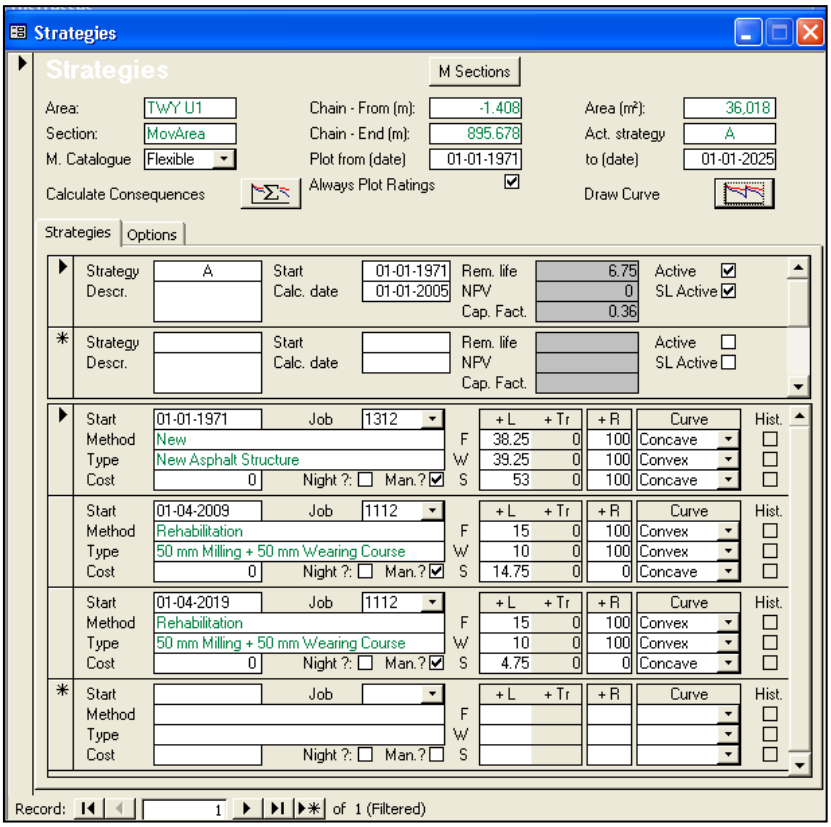


Figura 5.16 – Menu "Estratégias de M&R".

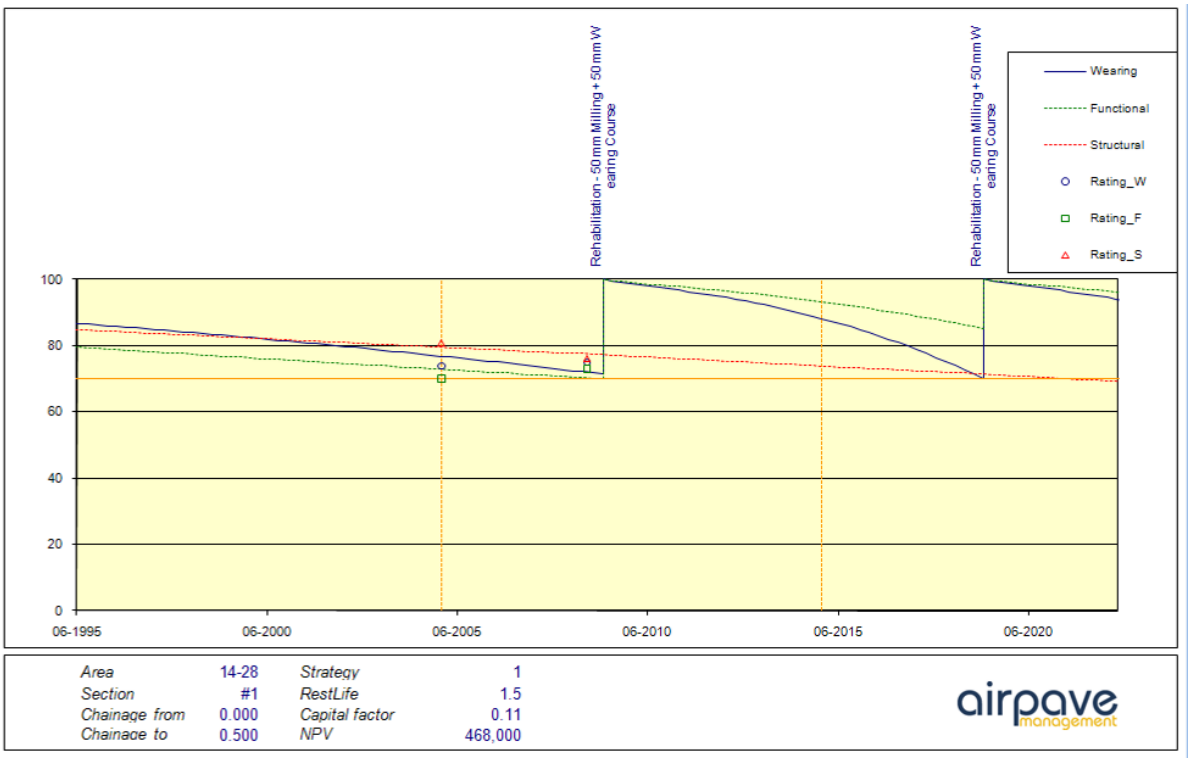


Figura 5.17 – Curvas de comportamento do pavimento calculadas pelo *Airpave*, expressas em função dos parâmetros F, W e S.

6. Conclusões

6.1 Síntese do Trabalho

O financiamento da manutenção, operação e desenvolvimento de um aeroporto é uma das principais preocupações da sua administração. O “Lado Ar”, constituído na sua maior parte pelos pavimentos aeronáuticos, ocupa geralmente entre 80 a 95% da área global de implantação de uma infraestrutura deste tipo, deixando assim antever a importância dos pavimentos nas políticas económicas e de gestão aeroportuária. Este facto e a consciencialização de que a implementação de sistemas de apoio à gestão de infraestruturas aeronáuticas é uma realidade recente em Portugal, serviram de motor à elaboração da presente dissertação.

Como enquadramento, foram apresentados e descritos os principais componentes do “Lado Ar” e a evolução do seu comportamento ao longo do tempo.

Considerando que a informação sobre o estado dos pavimentos é um requisito essencial à gestão eficaz de uma rede aeronáutica, a observação da qualidade dos pavimentos, através da medição de indicadores de desempenho funcional e estrutural, é absolutamente necessária, pelo que se descreveram as técnicas e equipamentos mais utilizados na sua medição em ambiente aeroportuário.

A enorme quantidade de informação associada e gerada pelos pavimentos levou ao desenvolvimento de sistemas de gestão capazes de auxiliar as administrações na tomada de decisões. Por este motivo, um dos grandes objectivos deste trabalho consistiu em explanar tanto o significado, funcionamento, importância e aplicabilidade destes sistemas, como os SGPA e os SIG, quando integrados e aplicados à gestão da manutenção.

Ficou claro que as rotinas de manutenção de pavimentos nos aeroportos Portugueses e no resto do Mundo indicam que um SGPA deve ser, preferencialmente, implementado com base em parâmetros funcionais e estruturais comummente utilizados em inspecções e levantamentos da condição dos pavimentos, tendo em conta o reconhecimento destes parâmetros, pela ICAO e FAA, como relevantes no contexto da segurança e conforto de operação das aeronaves, especialmente em operações de aterragem e descolagem.

Por último, atendendo a que a utilização de SGPA em Portugal é relativamente recente, justificou-se a escolha do Aeroporto de Lisboa para o desenvolvimento da pesquisa neste âmbito. Apresentou-se a infraestrutura e os dados relevantes referentes às condições actuais de operacionalidade. Mantendo o foco na importância de sistemas de apoio à gestão os pavimentos aeronáuticos, descreveram-se e organizaram-se as práticas necessárias à sua utilização e bom funcionamento,

complementando com a experiência do Departamento de Manutenção do ALS na gestão dos seus pavimentos.

6.2 Conclusões Gerais

Os pavimentos aeronáuticos têm custos elevados, não só associados à sua construção mas também associados à manutenção e reabilitação. O nível de serviço e de segurança que se exige destas infraestruturas é elevado e requer uma gestão tanto organizada como racional dos recursos disponíveis a nível financeiro, humano e material.

Com este trabalho demonstrou-se que o desenvolvimento nas últimas décadas de meios tecnológicos, ao nível de equipamentos e de software, têm possibilitado avanços significativos na gestão de pavimentos, contribuindo para um melhor conhecimento dos mesmos e da sua evolução ao longo dos anos, obtendo-se consequentemente uma redução de custos associados à fase de operação (envolvendo a manutenção e reabilitação dos pavimentos).

A utilização crescente de sistemas de gestão de pavimentos no cenário aeronáutico, a referenciação geográfica da informação, bem como a integração de toda a informação técnica relevante numa única base de dados têm mostrado ser alguns dos factores de peso na gestão optimizada de redes de pavimentos com alguma dimensão e importância. Senão veja-se, desde 1995 nos EUA que a FAA estabeleceu como critério para o financiamento de entidades aeroportuárias, a existência de um SGPA (implementado e em condições de operacionalidade).

O volume crescente de informação relativa à rede de pavimentos leva à necessidade de um sistema eficiente de processamento de dados (alfanuméricos e gráficos) e de consulta rápida agilizando o processo de tomada de decisões. Neste campo, o SGPA representa uma possibilidade concreta de avançar de um sistema de manutenção tradicional, baseado quase sempre na correcção de problemas, para um sistema de manutenção planeada em que actuação sobre os pavimentos abrange não só a solução dos problemas imediatos, mas, também, um trabalho preventivo que prolonga a vida útil e garante os padrões mínimos de serviço de toda a rede. Quando um sistema de gestão de pavimentos é implementado assiste-se à orientação objectiva e eficaz das várias actividades envolvidas na manutenção, além disso consegue-se controlar e promover o ordenamento e aquisição de informação, documentação necessárias a cada uma das tarefas programadas tornando-as formais e favorecendo o processo de feedback entre elas.

Por outro lado, um SIG é um sistema de referenciação geográfica que pode integrar numa mesma plataforma os dados das redes de pavimentos, sinalização, drenagem, energia eléctrica, entre outros. A sua integração com um SGPA torna-se uma mais-valia na melhoria do processo de tomada de decisão, não só pela quantidade de informação que pode ser disponibilizada como pela forma como a

informação é apresentada. A exibição gráfica de mapas contendo a rede de pavimentos e restantes redes conexas; a geração de arquivos de entrada para os módulos de análise do SGPA, extraindo os dados relevantes da avaliação do pavimento; a criação de uma interface entre o SIG e o SGPA como forma de construção e operação de modelos de análise; a exibição de resultados dos módulos de análise do SGPA e geração de saídas gráficas que podem ser incluídas nos relatórios, são algumas das vantagens resultantes da sua integração.

Pela dimensão e importância crescente no panorama internacional do Aeroporto de Lisboa a sua administração sentiu necessidade de adquirir um SGPA com o objectivo de gerir a informação técnica relevante, da sua responsabilidade neste domínio. Ainda assim, a sua longevidade, os vários planos de expansão de que tem sido alvo e a incerteza da data de construção do novo Aeroporto de Lisboa, têm-no colocado numa situação de algum constrangimento face a processos de modernização que tem sido mais fáceis de conduzir noutros aeroportos ANA e ANAM mas não em Lisboa (como são disso exemplo os projectos SIG).

O sistema de gestão – *Airpave* – utilizado avalia a qualidade do pavimento com base na observação de degradações superficiais. A soma ponderada dos diferentes tipos de degradações, considerando coeficientes de ponderação em função da gravidade e da extensão de cada tipo de degradação, permite obter uma escala do nível de serviço da rede cuja classificação é representada por cores e em função de três vectores: funcional – *functional* (F), camada de desgaste – *wearing* (W) e estrutural – *structural* (S) (apenas no que respeita a integridade uma vez que a capacidade estrutural não é medida).

A vantagem deste tipo de avaliação reside na facilidade de classificar o estado dos pavimentos através de uma nota (F, W, S) e na representação gráfica clara do estado dos pavimentos, em particular para os decisores nesta matéria.

Uma das desvantagens apontadas à avaliação global da qualidade dos pavimentos é o facto da mesma nota representar diferentes estados de pavimento devido à possibilidade de haver compensação entre os vários níveis de parâmetros. No caso do *Airpave,* a segmentação da classificação por parâmetros (funcional, estrutural, camada de desgaste) atenua este efeito permitindo ao utilizador compreender o estado particular de cada um deles.

Outra das desvantagens normalmente mencionadas é a impossibilidade de mexer na definição dos coeficientes de ponderação, atribuídos a cada parâmetro do algoritmo de cálculo da nota global. Eventualmente, pode tratar-se de uma desvantagem, uma vez que inviabiliza possíveis calibrações e ajustes à experiência e realidade vividas no aeroporto.

No essencial, a utilização de índices de avaliação global permite criar métodos mais ou menos expeditos de classificação da qualidade do pavimento. Cabe às administrações perceberem, face às

suas condicionantes (físicas, humanas, financeiras) e necessidades (operacionais e de segurança), quais os métodos de avaliação que mais se adequam (global, paramétrica, mista) para então estabelecerem os critérios de inspecção mais adequados.

Após a avaliação do estado do pavimento com base nos resultados de inspecção, a escolha da estratégia de M&R é apoiada por curvas teóricas de comportamento dos pavimentos e por uma biblioteca de trabalhos de reparação disponibilizada pelo programa.

As curvas de comportamento dos pavimentos mostram a evolução da qualidade funcional, estrutural e da camada de desgaste da secção em análise em relação ao limite de referência predefinido pelo programa como sendo o nível de serviço adequado e, é a partir desta informação que são escolhidos os trabalhos de M&R mais indicados. Esta escolha é feita apenas com base na experiência do utilizador que vai analisando as repercussões das suas opções nas curvas de comportamento até chegar à solução que melhor lhe convém.

Atendendo a que se espera que os sistemas de gestão constituam ferramentas de apoio à decisão, pode ser vantajoso considerar a utilização de árvores de decisão para definição do tipo de acção de conservação mais adequada, tornando todo o processo mais célere e independente da experiência do utilizador.

É importante reter que o sucesso de utilização de um SGPA assenta não só, nos progressos de gestão permitidos pelo sistema mas também, na qualificação e experiência da equipa que o opera.

No âmbito financeiro o SGPA tem sido utilizado apenas como referência para o cálculo dos custos inerentes aos trabalhos de M&R programados, de modo a planear eficaz e atempadamente os recursos financeiros necessários à manutenção do nível de serviço do pavimento.

O *Airpave* possui um módulo financeiro para a análise das alternativas mais rentáveis, atendendo ao custo e benefício, no entanto, a operacionalização recente do programa, a necessidade de reunir toda a informação necessária e carregar a base de dados com a mesma, tem adiado a utilização deste módulo.

Entende-se que o contributo de um SGPA no apoio à decisão depende em grande parte da quantidade e qualidade da informação disponível na base de dados, pelo que deve ser dada especial importância ao tipo e volume de dados necessários ao seu bom funcionamento. A menos que se trate de uma opção estratégica por parte da organização, deve ter-se presente que uma base de dados incompleta ou desactualizada pode comprometer o funcionamento do sistema e até inviabilizar o investimento realizado na sua implementação.

6.3 Desenvolvimentos Futuros ao SGPA

Compreendida a importância, tanto por organizações internacionais como Portuguesas, da utilização de SGP no âmbito aeronáutico e, pegando no exemplo do Aeroporto de Lisboa, entende-se que o sucesso, de progressos futuros nesta área, reside essencialmente no entendimento do que deve ser um sistema de gestão, na preparação da sua implementação e na possibilidade de o ajustar à realidade específica da organização.

Tão importante é adquirir um SGPA como definir objectivamente os moldes em que é implementado e operado, traçando-se os requisitos necessários ao seu bom funcionamento, as necessidades específicas da organização, acautelando a possibilidade de desenvolvimentos futuros e garantindo a sua integração com outros projectos e sistemas existentes. Além disso, não deve favorecer-se a criação de ilhas de informação, mas a devida transversalidade da mesma dentro da organização. Não só é importante, aumentar o ciclo de vida dos pavimentos como o ciclo de vida do SGPA, potenciando a rentabilidade financeira de ambos.

Pegando no exemplo do caso de estudo do Aeroporto de Lisboa enumeram-se alguns desenvolvimentos que se consideram relevantes para potenciar o investimento feito no SGPA existente e, apoiar os procedimentos de gestão dos pavimentos aeronáuticos bem como de infraestruturas conexas:

(i) Enriquecimento da base de dados do histórico dos pavimentos com a informação em falta, nomeadamente com o histórico de obras de construção e conservação englobando a identificação e localização das obras realizadas; identificação dos empreiteiros responsáveis pelas diversas obras; os tipos de trabalhos realizados; os materiais e quantidades utilizadas; os custos comerciais médios das actividades, etc.

(ii) Caracterização de materiais e soluções comummente aplicadas em pavimentos aeronáuticos, juntamente com os respectivos preços individuais e combinados, com vista à exploração do módulo financeiro do *Airpave*, para um melhor desenvolvimento da estratégia de conservação.

(iii) Incorporação dos dados de caracterização das redes de drenagem, sinalização e de equipamentos conexos no sistema ou em plataforma SIG desde que integrada com o SGPA.

(iv) Levantamento georreferenciado de toda a informação relativa à condição funcional e estrutural dos pavimentos e aquisição de informação visual em contínuo complementada por registos fotográficos.

(v) A utilização de índices de condição do pavimento reconhecidos internacionalmente (como por exemplo o PCI), embora não seja totalmente necessária, pode auxiliar o administrador aeroportuário na manutenção das condições de conforto e segurança dos pavimentos. A

utilização de práticas reconhecidas por entidades de referência no sector aeroportuário beneficia o controlo e certificação de qualidade dos procedimentos efectuados.

(vi) Visualização da informação tecnicamente relevante, para a manutenção dos pavimentos e redes de equipamentos conexos, em ambiente SIG; nomeadamente resultados de ensaios de caracterização (observação de degradações, atrito, textura, regularidade longitudinal e transversal, ensaios de carga, ensaios de prospecção), registo de anomalias, etc; tendo em vista a elaboração de relatórios que sirvam de apoio ao estabelecimento de acções e políticas de conservação.

(vii) Interligação do SGPA com outros projectos existentes necessários à gestão dos pavimentos.

(viii) Desenvolvimento de politicas de conservação com base na relação custo/benefício e face a prioridades definidas, com vista à selecção da estratégia óptima. A construção de um instrumento quantitativo para comparação de alternativas possibilitaria uma forma concreta e objectiva de ajudar o decisor a escolher a melhor opção. A construção de uma matriz de dupla entrada identificando o espectro de alternativas de intervenção possíveis por um lado e, os impactes relevantes na análise custo/benefício (conforto, custo, durabilidade, duração da obra, exequibilidade técnica, exigências de manutenção e custos de exploração, operacionalidade, possibilidade de faseamento, subida de cotas, problemática ambiental, etc.) por outro, permitiria calcular o valor global de cada alternativa e escolher a mais vantajosa de uma forma sistemática e expedita.

6.4 Proposta de Trabalhos Futuros

O trabalho que aqui se apresenta de forma alguma esgota a temática dos sistemas de gestão de pavimentos aplicados a infraestruturas aeroportuárias. Pelo contrário, considera-se que este trabalho é uma abordagem inicial que procurou com profundidade enquadrar e desenvolver todos os aspectos associados a esta problemática. Por isso, a necessária continuidade de investigação futura neste tema poderá ser orientada pelas seguintes propostas, entre outras:

(i) Desenvolvimento de mais casos de estudo com aplicação prática dos diferentes componentes aqui apresentados.

(ii) Utilização aplicada de sistemas de gestão a diferentes realidades aeroportuárias.

(iii) Desenvolvimento e validação de modelos de comportamento dos pavimentos ao longo do ciclo de vida da infraestrutura aeroportuária.

7. Bibliografia

AC:150/5320-12C. 1997. Measurement, Construction and Maintenance of Skid – Resistance Airport Pavement Surfaces - [s.l.] : U.S. Department of Transportation, Federal Aviation Administration.

AC:150/5340-18. 2004. Standards for Airport Sign Systems for Detailed information on Airport Signs - [s.l.] : U.S. Departement of Transportation, Federal Aviation Administration.

AC:150/5335-5A. 2006. Standardized Method of Reporting Airport Pavement Strenght - PCN. - Washington : U.S. Department of Transportation, Federal Aviation Administration.

AC:150/5370-11A. 2004. Use of nondestructive testing in the evaluation of airport pavements - [s.l.] : U.S. Department of Transportation, Federal Aviation Administration.

AC:150/5380-6A. 2003. Guidelines and Procedures for Maintenance of Airport Pavements - [s.l.] : U.S.Department of Transportation, Federal Aviation Administration.

AC:150/5380-7A. 2006. Airport Pavement Management Program - [s.l.] : U.S. Department of Transportation, Federal Aviation Administration.

Agência Financeira. 04 de 2010. – 05 de 2010. ANA: aeroporto de Lisboa tem 5 mil pedidos em espera. [Online] // Agência Financeira - http://www.agenciafinanceira.iol.pt/empresas/portugal-agencia-financeira-ana-aeroporto-lisboa--guilhermino-rodrigues/1154865-1728.html.

AIPCR/PIARC. 2003. *Surface Characteristics*. Paris.

Alves T. S. F. 2007. *Metodologias de Auscultação de Pavimentos Rodoviários*, *Aplicação Prática do Radar de Prospecção e do Defléctómetro de Impacto* - Dissertação para obtenção de grau de Mestre em Engenharia Civil, IST. Lisboa.

ANA, Aeroportos de Portugal, S.A. 2010. Página Estatística de ANA - Aeroportos [Online] // Página Raís da ANA - Aeroportos. - www.ana.pt/portal/page/portal/ANA/ESTATISTICA.

ANA, Aeroportos de Portugal, S.A. 1992. *Aeroporto de Lisboa 1942-1992* [Livro]. Lisboa.

ANA, Aeroportos de Portugal, S.A. 2009. Concurso Público para a *Implementação de um Sistema de Gestão de Pavimentos Aeroportuários* [C.E.]. Lisboa.

Antunes M. L. 1993. *Avaliação da Capacidade de Carga de Pavimentos utilizando Ensaios Dinâmicos.* Tese de Doutoramento. Lisboa.

ARRB , Australian Road Research Board. 2010. Australian Road Research Board, Data Collection Services, Hawkeye 2000 series [Online] // Australian Road Research Board. www.arrb.com.au/Equipment-services/Hawkeye-2000-Series.aspx.

Ashford N., Stanton H.P.M. e Moore C. A. 1996. *Airport Operations*. [s.l.] : McGraw- Hill.

ASTM D4694-96. 2003. *Standard Test Method for Deflections with a Falling-Weight-Type Impulse Load Device*. [s.l.] : American Society for Testing Materials, December.

ASTM D5340-04´1. 2004. *Standard Test Method for Airport Pavement Condition Index Surveys.* [s.l.]: American Society for Testing Materials.

Branco F., Pereira P. e Santos L. P. 2006. *Pavimentos Rodoviários.* - Coimbra : Almedina.

Burrough P. A. 1986. *Principles of Geographical Systems for Land Ressources Assessment.* - New York : Oxford University Press.

Butler B. C. 1973. *EAROMA-Work Zone Time Delay Model* - Washington, D. C: Federal Highway Administration (FHWA).

CEBTP. 2007. Curviametre MT 15, Centre Experimental de recherches et d'etudes du Bâtiment et dês Travaux Publics. - France : [s.n.].

Coppock J. T. e Rhind D. W. 1991.*The History of Gis* [Secção do Livro] // *Geographical Information Systems: Principles and Applications*. / autor do livro Maguire D.J., Goodchild M.F. e Rhind D.W.. - UK : Longman Sientific and Technical - Vols. I, pp.21 - 43.

COST 325. 1997. *New Road monitoring equipment and methods*, Final Report of the COST Action. - Luxembourg.

COST 336 . 2002. *Falling Weight Deflectometer*, Final Report of the COST Action.

COST 354. 2007. *Performance Indicators for Road Pavements*, Final Report of the COST Action, 30 April.

Coutinho M., Borrego C., Pinho, R., Leão, F. e Jorge G. 2004. *Os Custos Externos como Instrumento de Apoio à Decisão de Políticas de Transporte*.

Cowen D.J. 1990. *Gis versus Cad versus DBMS: What are the Differences*? [Secção do Livro] // Introductory Reading in Geographic Information Systems. - [s.l.] : Taylor & Francis.

Cruz F. C. 2009. *Taxas Ambientais Aeroportuárias Baseadas na Valoração de Externalidades: O Caso do Aeroporto da Portela*.

Domenichini L. e Martinelli F. 2004. *Influence of the Road Characteristics on Tyre Wear* // 5th Symposium on Pavement Surface Characteristics-Roads and Airports. - Toronto, Canada : World Road Association.

EUROCONSULT. 2004. *Structural Road Monitoring with Curviameter*, 1st European Congress [Online]. - 2004, 24 November. - www.erf.be/images/congress/proceedings/Sanchez.pdf.

FAA . 2008. Aeronautical Information Manual Effective. - [s.l.] : Air Traffic Publication, FAA.

Fontul S., Antunes M.L., Fortunato, E. e Oliveira, M. 2007. Practical application of GPR in Transport Infrastructure Survey, LNEC. - Lisbon, Portugal : [s.n.].

Fontul S. 2004. *Caracterização do estado dos pavimentos: Características superficiais*, Elementos de apoio ao curso "Conservação e Reabilitação de Pavimentos Rodoviários". - Lisboa, 13 Novembro : LNEC.

Gama J. M. B. 2009. *Pavimentos Aeroportuários e Sua Manutenção - Caso de estudo do Aeroporto Internacional de Lisboa*. - Lisboa : Instituto Superior Técnico.

Gervais E. September 1991. *Runway Roughness Measurement, Quantification and Application; The Boeing Approach*. Aircraft Pavement Interaction // Proceedings of the Conference, American Society of Civil Engineers. - New York, NY : [s.n.]. - Vols. pp. 121-131.

GripTester. 2006. - 2010. Grip Tester: "Roads & HighWays", United States [Online] // Grip Tester. www.griptester.us/roads.html.

Haas R., Hudson W.R e Zaniewski J. 1994. *Modern Pavement Management*. - Malabar, Florida : Krieger Publishing Company.

Harrison R., McNerney M. T. e Euritt, M. 1995. *Full-Cost Approach to Airport Pavement Management*. Handbook of Airline Economics. - [s.l.] : McGraw-Hill.

Horonjeff R. e Mckelvey F. X. 1994. *Planning & Design of Airports*. - [s.l.] : Mc Graw Hill, - Vol. Fourth edition.

ICAO - International Civil Aviation Organization. 2010. [Online] // ICAO Web site. www.icao.int.

ICAO. 1984. Airport Maintenance Practices - Part 9 - First Edition. - [s.l.] : ICAO.

ICAO. 2002. *Manual de Servicios de Aeropuertos. Parte 2 – Estado de la Superficie dos Pavimentos*. - Canada : International Civil Aviation Organization - Vol. Cuarta Edición.

ICAO. 2004. *Aerodrome design manual Annex 14. 4th*. - Canada : International Civil Aviation Organization, Customer Services Unit - Vol.I.

Junior J. A. O. O. 2008. *Análise do Parâmetro da Irregularidade Longitudinal do Pavimento da RS/734 com o Uso do Equipamento Merlin no Município de Rio Grande–RS*, Trabalho de Conclusão de Curso. - Santa Maria, R.S., Brasil : Universidade Federal de Santa Maria, Centro de tecnologia, Curso de Engenharia Civil.

Keen M. e Strand J. 2007. *Indirect Taxes on International Aviation*, in Fiscal Studies - Vols. 28, nº1.

Larson R., Scofield L. e Sorenson J. 2004. *Pavement Functional Surface Characteristics* // 5th Symposium on Pavement Surface Characteristics-Roads and Airports. - Toronto, Canada : World Road Association.

LNEC. 2008[c]. Deflectómetro de Impacto - LNEC [Online] // LNEC. - 2010. - www.lnec.pt/organizacao/dt/nira/deflectometro.

LNEC. 2008[d]. Deflectómetro de Impacto - LNEC, Radar de Prospecção [Online] // LNEC. - 2010. - www.lnec.pt/organizacao/dt/nira/radar.

LNEC. 2008[b]. Grip Tester, Núcleo de Infraestruturas, Departamento de Transportes, Lisboa [Online] // LNEC Web site. - 2010. - www.lnec.pt/organizacao/dt/nira/grip_tester.

LNEC. 2008[a]. Perfilómetro Laser, Departamento de Transportes, Núcleo de Infraestruturas, Lisboa [Online] // LNEC Web site. - 2010. - www.lnec.pt/organizacao/dt/nira/perfilometro.

Luís J. M. S. R. 2009. *Desenvolvimento de um Modelo de Avaliação Expedita de Pavimentos Aeronáuticos - Índice Integrado de Avaliação Expedita (IIAE) aplicado ao caso do Aeródromo Municipal de Cascais*. - Lisboa : Instituto Superior Técnico - Universidade Técnica de Lisboa.

Broten M., Comer C., and Muntasir A. 2004. *State Airport Pavement Management Practices and the Impact on Pavement Condition* // 6th International Conference on Managing Pavements. - Queensland, Australia : [s.n.].

Maguire D.J. 1991. *An Overview and Definition of Gis* [Secção do Livro] // *Geographical Information Systems: Principles and Applications*. / autor do livro Maguire D.J., Goodchild M.F. e Rhind D.W. - UK : Longman Scientific and Technical - Vols. I, pp. 9-20.

Merighi J.V., Peres R. e Silva G.T. 2006. *Influência da Natureza da Superfície de contacto na geração de aderência nos pavimentos aeroportuários* // V Jornadas Luso-Brasileiras de Pavimentos: Politicas e Tecnologias. - Recife : [s.n.] - Vols. V-039.

Ministry of Civil Aviation. 2010. [Online] // Ministry of Civil Aviation. http://www.civilaviation.gov.eg/.

Neto P. L. 1998. *Sistemas de Informação Geográfica*. - [s.l.] : FCA-Editora de Informática - Vol. 2ª Edição.

Neves J. 2009[a]. *Construção e Manutenção de Infraestruturas de Transporte*. - Lisboa : Instituto Superior Técnico - Vol. Aula Teórica 5.

Neves J. 2009[b]. *Projecto de Infraestruturas Rodoviárias e Aeronáuticas*. - Lisboa : Instituto Superior Técnico - Vol. Aula Teórica 9.

OCDE. 1994. *L'Allocation des Ressources pour les Programmes d'Entretien et de Remise en Etat des Routes* - Rapport Final. - Paris : [s.n.].

Oliveira F. H. L. e Júnior E. F. N. 2009. *Acúmulo e Remoção de Borracha em Pavimentos Asfálticos*. - Fortaleza : Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária.

Paterson D. 1987. *Pavement Management Practices*. - Washington : Transportation Research Board.

Pavement Preservation Library. 2010. pavementpreservation [Online] // www.pavementpreservation.org. - www.pavementpreservation.org/library/getfile.php?journal_id=647.

Pereira P. e Miranda V. 1999[a]. *Gestão da Conservação dos Pavimentos Rodoviários*. - Universidade do Minho, Braga : [s.n.].

Pereira P. e Miranda V. 1999[b]. *Impactes Ambientais da Irregularidade dos Pavimentos Rodoviários*. - Braga : Universidade do Minho, edição de autor.

Prospectiva. 2006. *Rede de Drenagem Pluvial - Separador de Hidrocarbonetos, ALS - Estudo prévio* [Relatório]. - Lisboa : ANA, Aeroportos de Portugal SA.

Rogertec. 2010. www.rogertec.com.br/Produtos/renew.pdf [Online] // www.rogertec.com. - http://www.rogertec.com.br/Produtos/renew.pdf.

Santos L. P., Ferreira A. e Pereira P. A. A. 2006. *Estruturação de um Sistema de Gestão de Pavimentos para uma Rede Rodoviária de Carácter Nacional* [Artigo] // Revista Engenharia Civil da Universidade do Minho. - Guimarães : Universidade do Minho - Vol. nº 26.

Sayers M. W., Gillespie T. D. e Queiroz C. A. V. 1986. *The International Road Roughness Experiment - Establishing Correlation and a Calibration Standard for Measurements* // World Bank Technical Paper. - [s.l.] : World Bank. - 45.

Shah A., S. Anwar e Tighe S. 2004. *Development of a Unique Deterioration Index - Prioritization Methodology and Foreign Object Damage Evaluation Models for Canadian Airfield Pavement Management*. - [s.l.] : Canada National Research Council.

Shahin M. Y. 2005. *Pavement Management for Airports, Roads and Parking Lots*. - New York : Chapman & Hall.

Shahin M.Y. e Kohn S.D. 1979. Development of a Pavement Condition Rating Procedure for Roads, Streets and Parking Lots [Livro]. - [s.l.] : U.S.army corps of engineers - Vol. volume I.

Silva J. P. S. 2007. *Aderência Pneu-Pavimento e as Condições de Segurança de Pistas Aeroportuárias*. – Brasília.

Sousa A. F. e Gomes S. 2008. *Tecnologia Aplicada à Avaliação das Estruturas dos Pavimentos Aeroportuários* - Monografia de Especialização em Gestão da Aviação Civil. - Brasília : Universidade de Brasília.

Sousa E. R. e Matos J. S. *Projecto de Sistemas de Drenagem de Águas Pluviais* - Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura, Instituto Superior Técnico. - Lisboa : [s.n.].

Specht L. P., Rozek T., Hirsch, F. e Santos, R. T. 2007. *Avaliação da Macrotextura de Pavimentos através do Ensaio de Mancha de Areia*. - Rio Grande do Sul, Brasil : Teoria e Prática na Engenharia Civil - Vols. nº10, p.30-38.

TRB. 2008. *Implementation of an Airport Pavement Management System* - Transportation Reserch Circular number E - C127. - [s.l.] : Transportation Reserch Board.

Uminho DI. 2010- DI - Sistemas Inteligentes [Online] // Departamento de Informática, Universidade do Minho. - www.di.uminho.pt/ensino/formacao-avancada/sistemas-inteligentes.

Veloso J. J. 2001. *Gestão de Pavimentos Aeronáuticos – Tese de Dissertação de Mestrado. Lisboa: Instituto Superior Técnico.*

Wallman C. G. e H. Astrom. 2001. *Friction Measurement Methods and the Correlation between Road Friction and Traffic Safety* - A literature review. - [s.l.] : LinKoping: Swedish National Road and Transport Research Institute (VTI).

Wambold J. C., Antle C. E., Henry J. J. e Rado Z. 1995. *International PIARC Experiment to Compare and Harmonise Texture and Skid Resistance Measurements*. - France : PIARC.

Watanatada T., Harial, C. G., Paterson W. D. O., Dhareshwar A. M., Bhandari A. e Tsunokawa, K. 1998. *The Highway Design and Maintenance Standards Model (HDM-111)*. - Washington, D.C. : [s.n.] - Vols. Vol. 2- User's Manual for the HAM-111 Model.

ANEXOS

ANEXO I – SINALIZAÇÃO AERONÁUTICA (ÁREAS DE MOVIMENTO)

MARCAS E SINALIZAÇÃO HORIZONTAL

Classificação das Pistas para Efeitos de Sinalização

Para efeitos de sinalização, uma pista pode classificar-se em função dos auxílios visuais de ajuda à navegação disponibilizados às aeronaves. Segundo a ICAO, uma pista (*instrumental runway*) pode enquadrar-se numa das categorias seguintes:

a) Pista com instrumentos de aproximação de não-precisão: Pista servida por auxílios visuais e na ausência destes por orientação direccional adequada a uma aproximação directa.
b) Pista com instrumentos de aproximação de precisão, categoria I: Pista servida por sistemas de guiamento automático ILS/MLS e auxílios visuais destinados a operações com altura de decisão não inferior a 60 m bem como visibilidade não inferior a 800 m ou pista de alcance visual não inferior a 550 m.
c) Pista com instrumentos de aproximação de precisão, categoria II: Pista servida pelos sistemas de guiamento automático ILS e/ou MLS e auxílios visuais destinados a operações com altura de decisão inferior a 60 m e superior a 30 m e um alcance visual não inferior a 300 m.
d) Pista com instrumentos de aproximação de precisão, categoria III: Pista servida pelos sistemas de guiamento automático ILS e/ou MLS e em toda a sua superfície:
    A. Destinada a operações com uma altura de decisão inferior a 30 m, ou sem altura de decisão e com alcance visual não inferior a 175 m.
    B. Destinada a operações com uma altura de decisão inferior a 15 m ou sem altura de decisão e alcance visual inferior a 175 m mas superior a 50 m.
    C. Destinada a operações sem altura de decisão e sem limitações de alcance visual de pista.

Sinalização de Pistas

Quadro I.1 – Localização e dimensões do "*Aiming point*" - Ponto de Mira.

Localização e dimensões (1)	Distância de aterragem disponível: Menos de 800 m (2)	De 800 m a 1200 m (exclusivé) (3)	De 1200 m a 2400 m (exclusivé) (4)	Igual ou maior a 2400 m (5)
Distância entre as marcas de "início de pista" e "ponto de alcance"	150 m	250 m	300 m	400 m
Comprimento da faixa [a]	30–45 m	30–45 m	45–60 m	45–60 m
Largura da faixa	4 m	6 m	6–10 m [b]	6–10 m [b]
Espaço lateral entre faixas	6 m [c]	9 m [c]	18–22.5 m	18–22.5 m

a. Os intervalos de valores mais elevados devem ser utilizados onde é necessário o aumento de notabilidade.
b. O espaço lateral pode variar nestes intervalos para minimizar a contaminação das marcas por depósito de borracha.
c. Estes valores foram deduzidos tendo por base a envergadura da roda do trem de aterragem principal que é o elemento 2 do Quadro - "Códigos de referência de aeródromos" da ICAO.

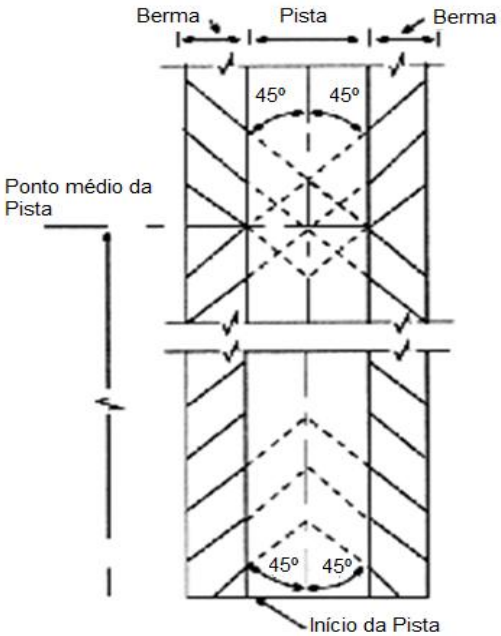
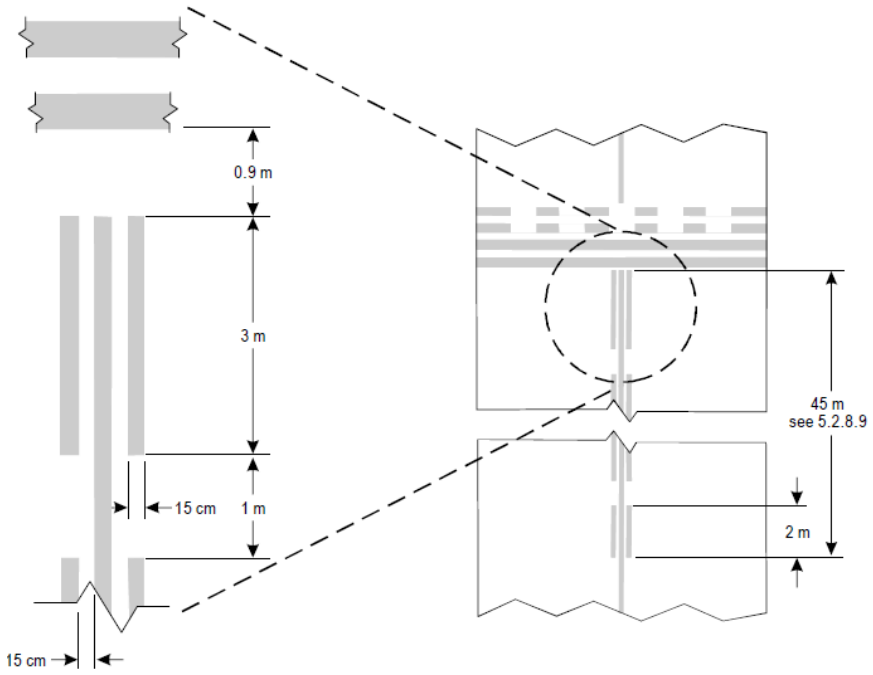
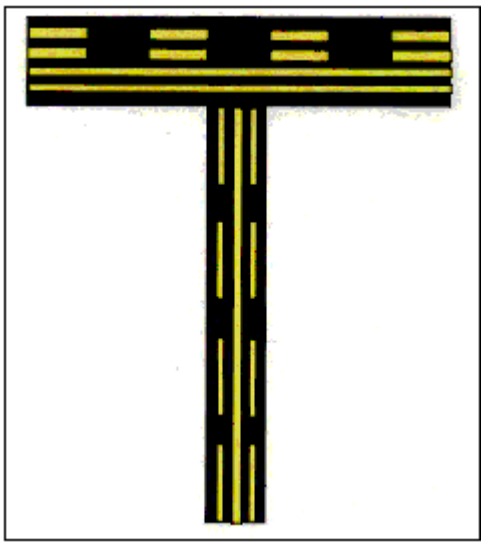


Figura I.1 – Marcação de bermas de pista, (Fonte: FAA).

Sinalização de *"Taxiways"* – Corredores de Circulação



A.



B.

Figura I.2 – Eixo central conspícuo do corredor de circulação: A. Fonte: ICAO; B. Fonte: FAA.

Sinalização de Espera

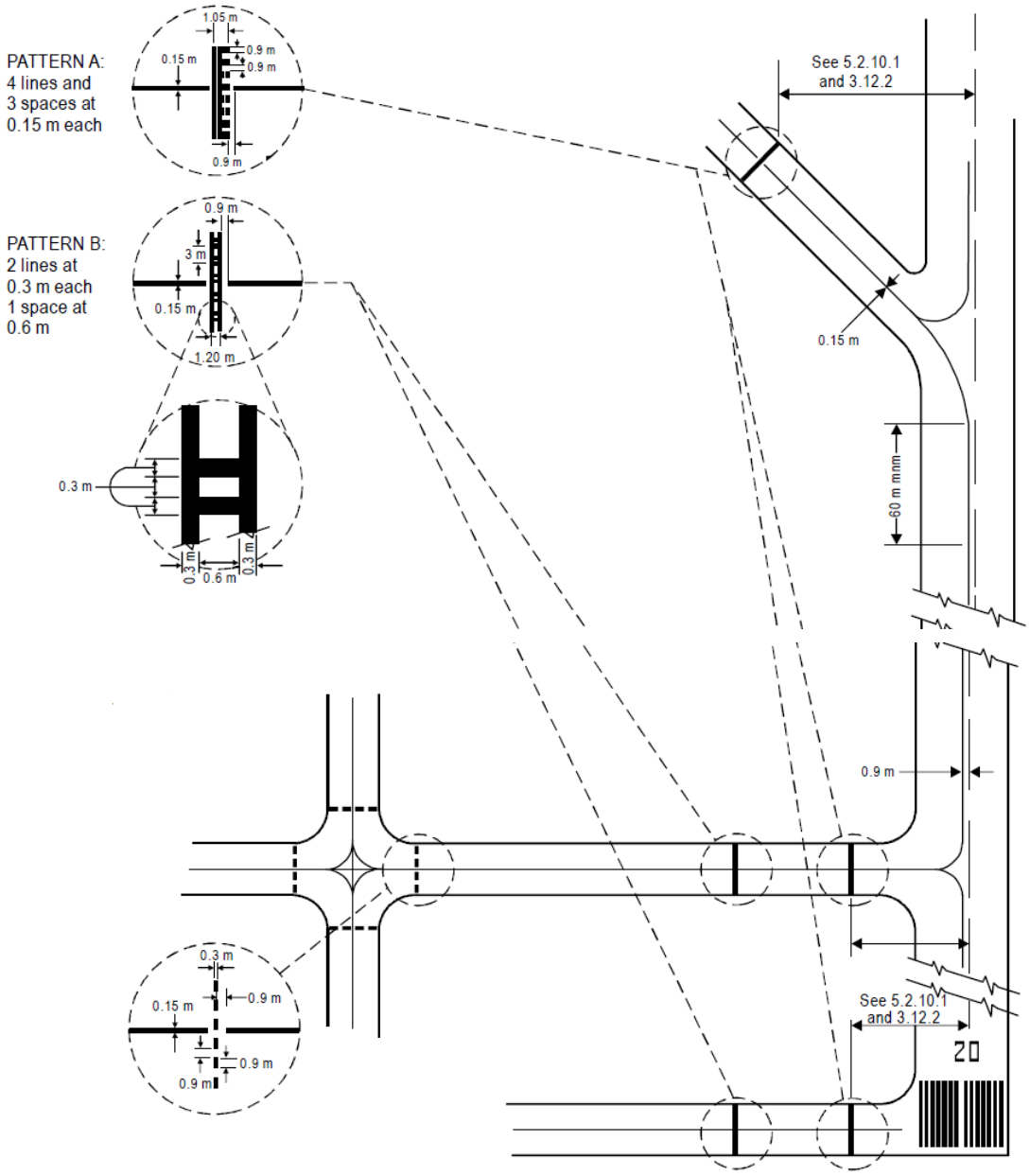
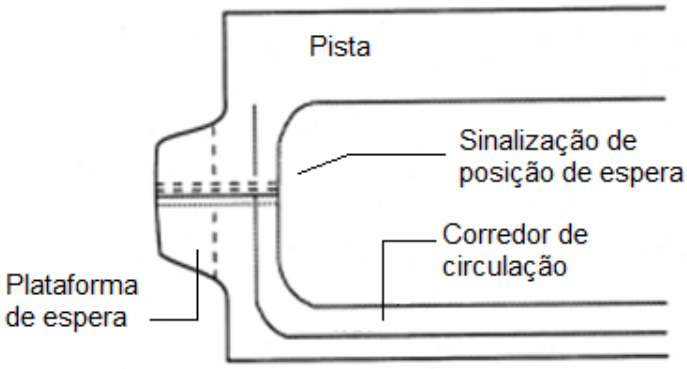


Figura I.3 – Marcas de espera (Fonte: ICAO).



Fonte: FAA

Figura I.4 – Marcas de espera intermédias (Fonte: FAA).

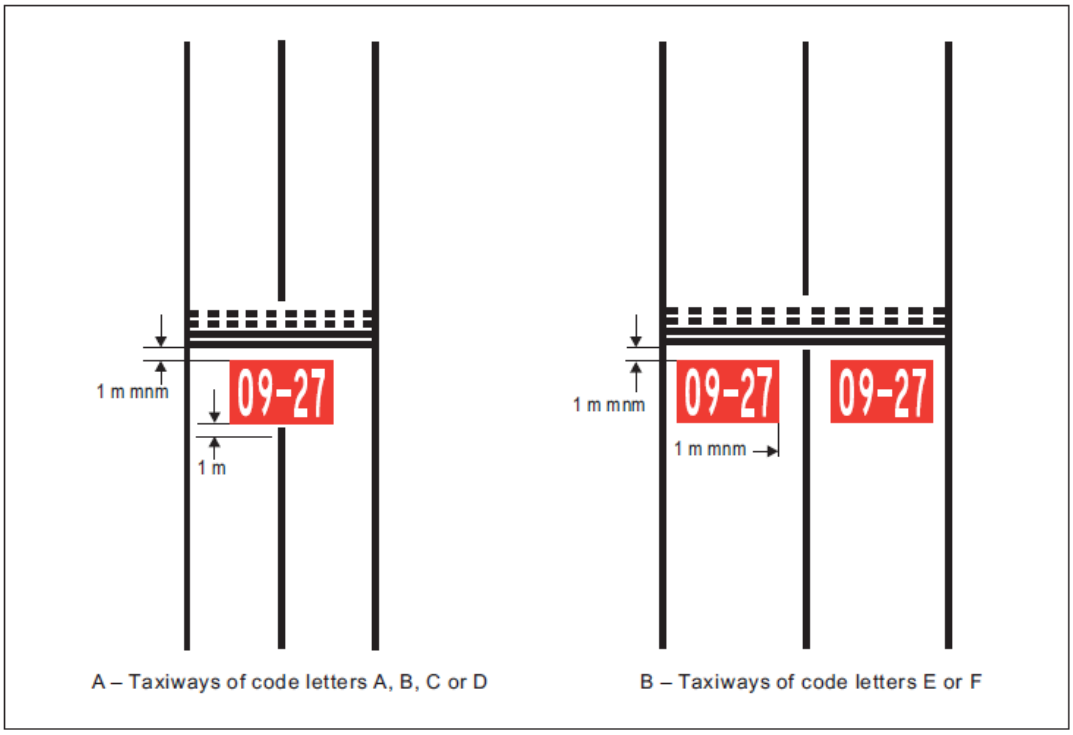


Figura I.5 – Marcas de espera (Fonte: FAA).

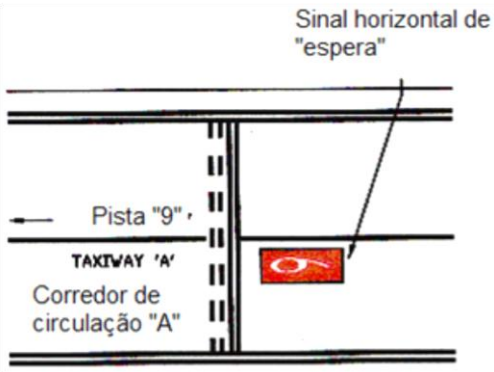


Figura I.6 – Sinal horizontal de espera (Fonte: FAA).

Outra Sinalização

a. Sinalização de Segurança em Plataformas de Estacionamento

Serve para definir as áreas que se destinam a veículos, aeronaves e equipamentos de serviço, proporcionando uma separação segura entre os mesmos.

b. Sinalização Horizontal para Veículos

A sinalização horizontal para veículos permite definir os caminhos de circulação que se destinam ao uso dos mesmos. Uma linha branca contínua delineia cada um dos lados da faixa de circulação e uma linha branca descontínua separa os corredores de circulação, à semelhança da sinalização rodoviária. Também podem ser usadas marcas *zipper*[13] para delimitar os bordos dos corredores.

c. Ponto de Verificação de Receptor VOR

O ponto de verificação de receptor VOR permite ao piloto testar os instrumentos de navegação da aeronave. Trata-se de um círculo pintado que poderá ter uma seta ou não consoante a necessidade da aeronave alinhar-se numa direcção específica. A ICAO estabelece apenas que este ponto deve estar marcado preferencialmente de cor branca e que se deve diferenciar das marcas do corredor de circulação (Figura I.7). Este sinal encontra-se em placas de estacionamento ou corredores de circulação, onde o tráfego não possa ser obstruído.

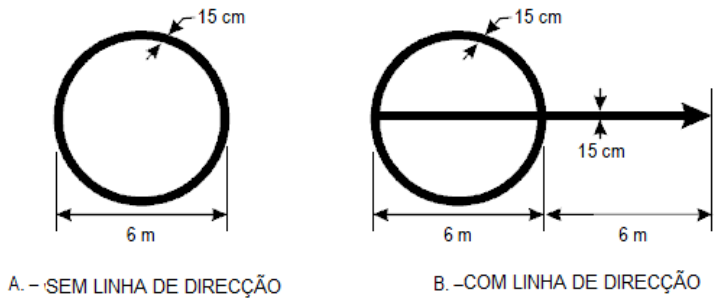


Figura I.7 – Sinal de verificação de receptor VOR, "VOR *checkpoint* " (Fonte: ICAO).

d. Delimitação de Zona Interdita ao Movimento

As marcas horizontais que delimitam a zona sob controlo do tráfego aéreo são amarelas e localizam-se na fronteira entre as áreas de movimento e interditas ao movimento. São constituídas por duas

[13] As marcas *zipper* assemelham-se ao formato de um fecho, daí a sua designação.

linhas, contínua e descontínua, sendo que a primeira encontra-se junto à área de movimento interdito, Figura I.8 à esquerda).

e. Sinalização de Encerramento Permanente ou Temporário de Pistas e Corredores de Circulação

No caso de pistas e corredores de circulação que estejam encerrados permanentemente, os circuitos de iluminação são desligados. As marcas horizontais são obliteradas e são colocadas cruzes amarelas nas extremidades (Figura I.8 à direita). Caso o encerramento da pista ou corredor de circulação seja temporário, são apenas colocadas cruzes amarelas nas extremidades.

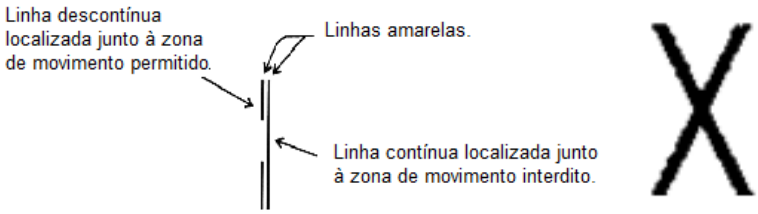


Figura I.8 – Marcas horizontais no pavimento: área interdita ao movimento (à esquerda) e Pista/corredor encerrado (à direita).

f. Área de Aterragem de Helicópteros

Caso exista, a zona de aterragem e descolagem dos helicópteros é assinalada com a letra “H” que se encontra alinhada com a direcção de abordagem pretendida (Figura I.9)

Figura I.9 – Sinalização de heliportos (Fonte: FAA).

SINALIZAÇÃO VERTICAL

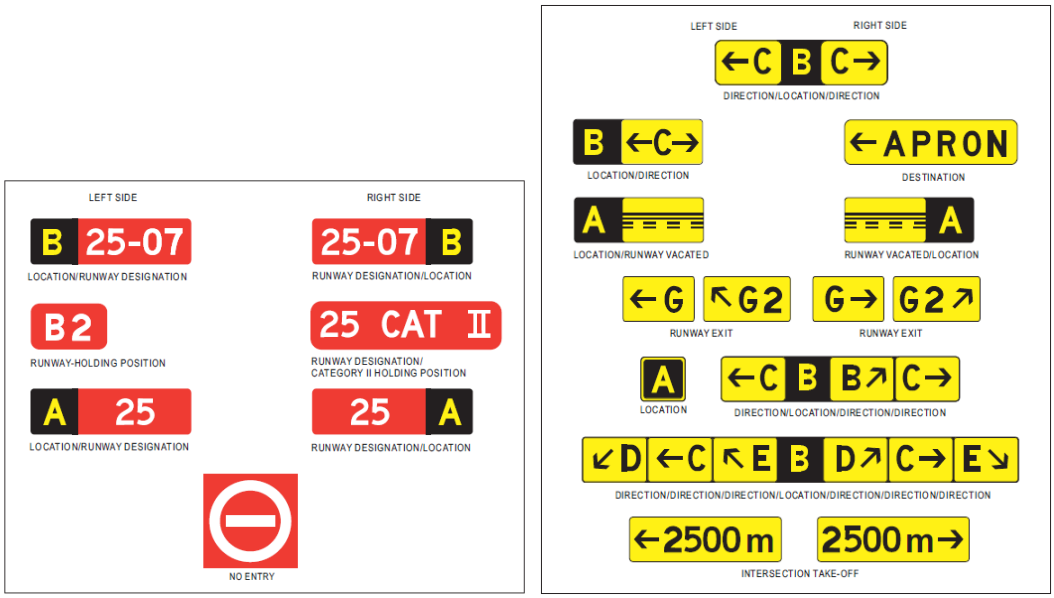


Figura I.10 – Sinais de instrução obrigatória (à esquerda) e sinais informativos (à direita). (Fonte: ICAO).

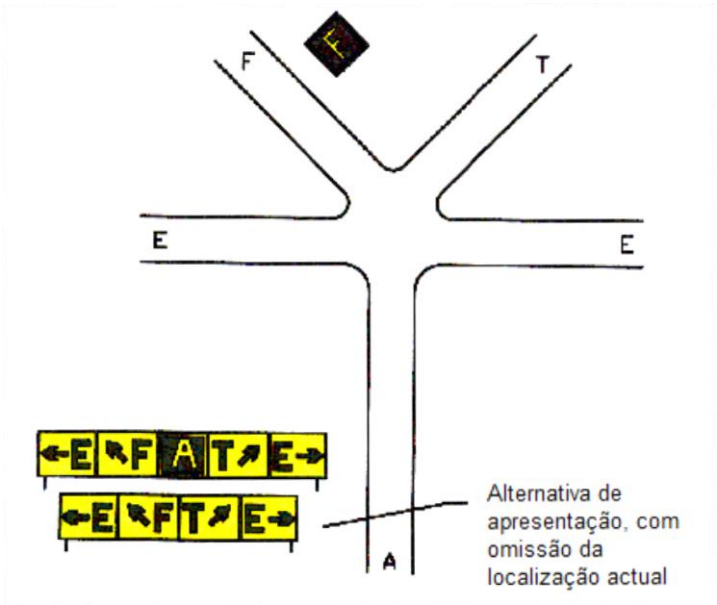


Figura I.11 – Exemplo de apresentação de sinais informativos, FAA.

SINALIZAÇÃO LUMINOSA

Corredores de circulação

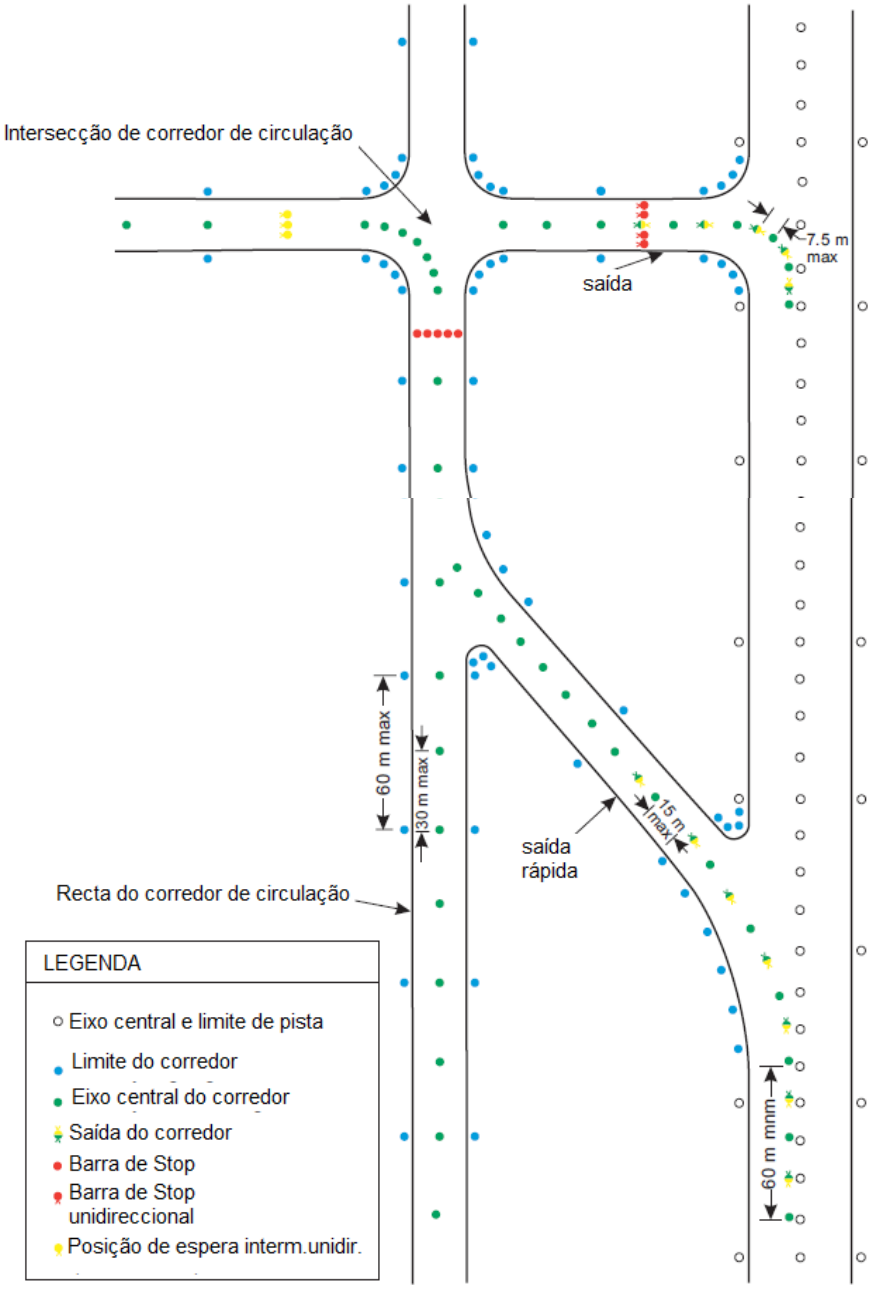


Figura I.12 – Sistema de iluminação de corredores de circulação (Fonte: ICAO).

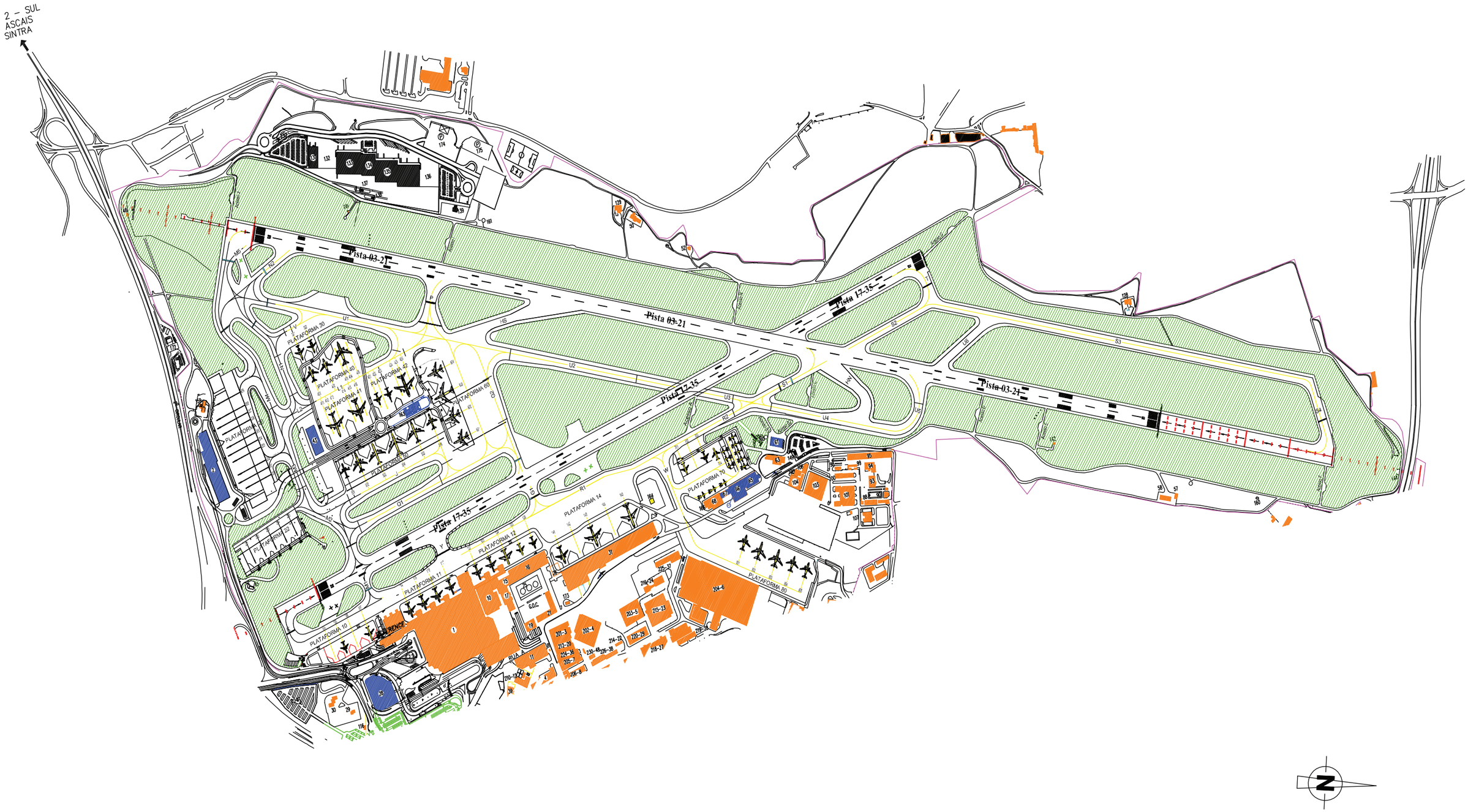
ANEXO II – ENSAIOS DE LABORATÓRIO

Quadro II.1 – Normas/Especificações para ensaios de Laboratório.

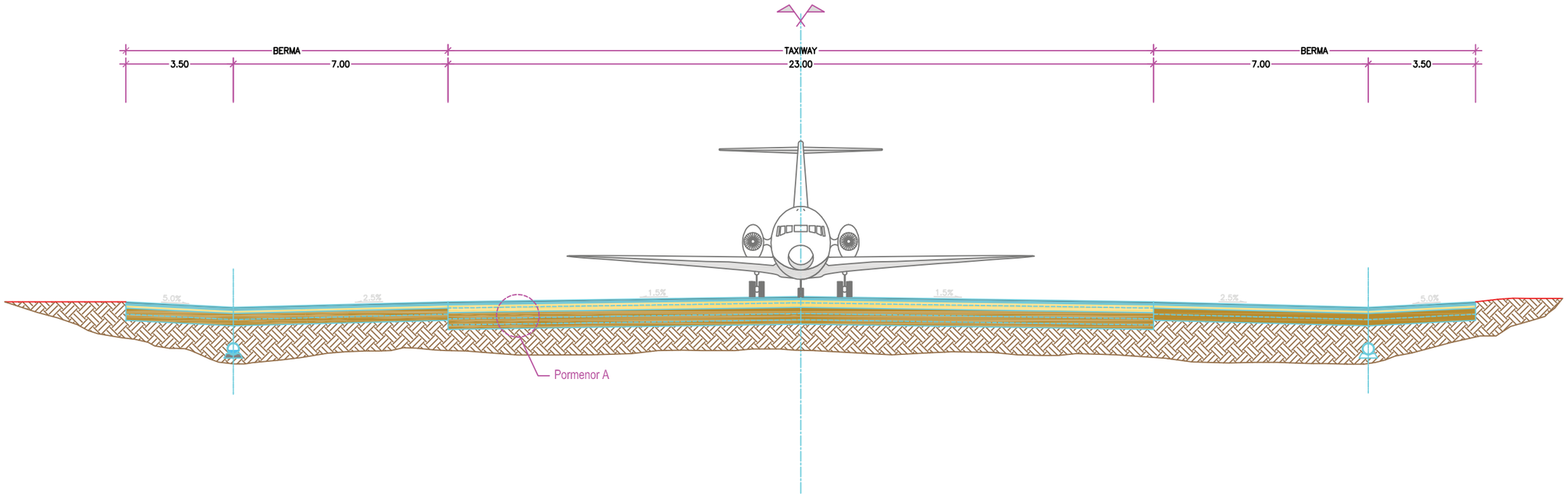
MATERIAL	ENSAIO	NORMA/ ESPECIFICAÇÃO
Materiais granulares	Equivalente de areia	NP EN 933-8
	Análise granulométrica	NP EN 933-1
	Índice de vazios	(Por cálculo)
	Limite de liquidez e plasticidade	NP 143
	Valor de azul-de-metileno	NP EN 933-9
	Ensaio de compactação	LNEC E 197
	Índice de achatamento	NP EN 933-3
	Índice de forma	NP EN 933-4
Solos	Equivalente de areia	NP EN 933-8
	Análise granulométrica	NP EN 933-1
	Limite de liquidez e plasticidade	NP 143
	Valor de azul-de-metileno	NP EN 933-9
	Ensaio de compactação	LNEC E 197
	Ensaio CBR	LNEC E 198
	Densidade das partículas	NP 83
	Teor em água	NP 84
Misturas Betuminosas	Baridade aparente	EN 12697-6
	Percentagem em betume	EN 12697-1 ou Mufla de Ignição
	Penetração do betume recuperado pelo método do LNEC	EN 1426
	Granulometria dos agregados após extracção do betume	NP EN 933-1
	Baridade máxima teórica	EN 12697-5
	Porosidade	(Por cálculo)
	Percentagem volumétrica de betume	(Por cálculo)
	Temperatura de amolecimento do betume recuperado	EN 1427
Misturas com Ligantes Hidráulicos	Espessura das camadas com indicação da extracção total ou parcial	(Por medição e observação)
	Baridade aparente	EN 12697-5
	Resistência à compressão simples	NP EN 12390-3
	Resistência à compressão diametral	NP EN 12390-6
	Módulo de elasticidade em compressão	LNEC E 397
	Quantidade de cimento	NP EN 196

ANEXO III – DADOS DO AEROPORTO INTERNACIONAL DE LISBOA

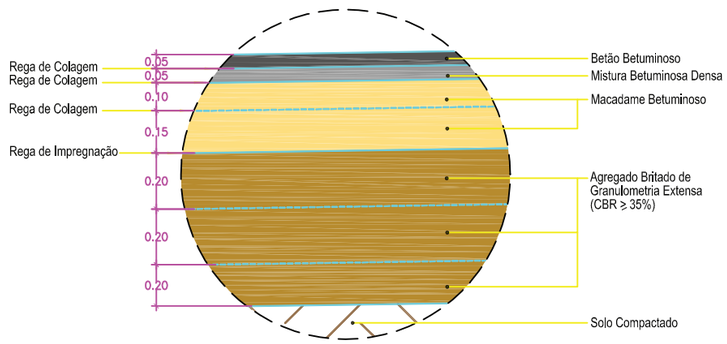
Planta do “Lado Ar”do ALS



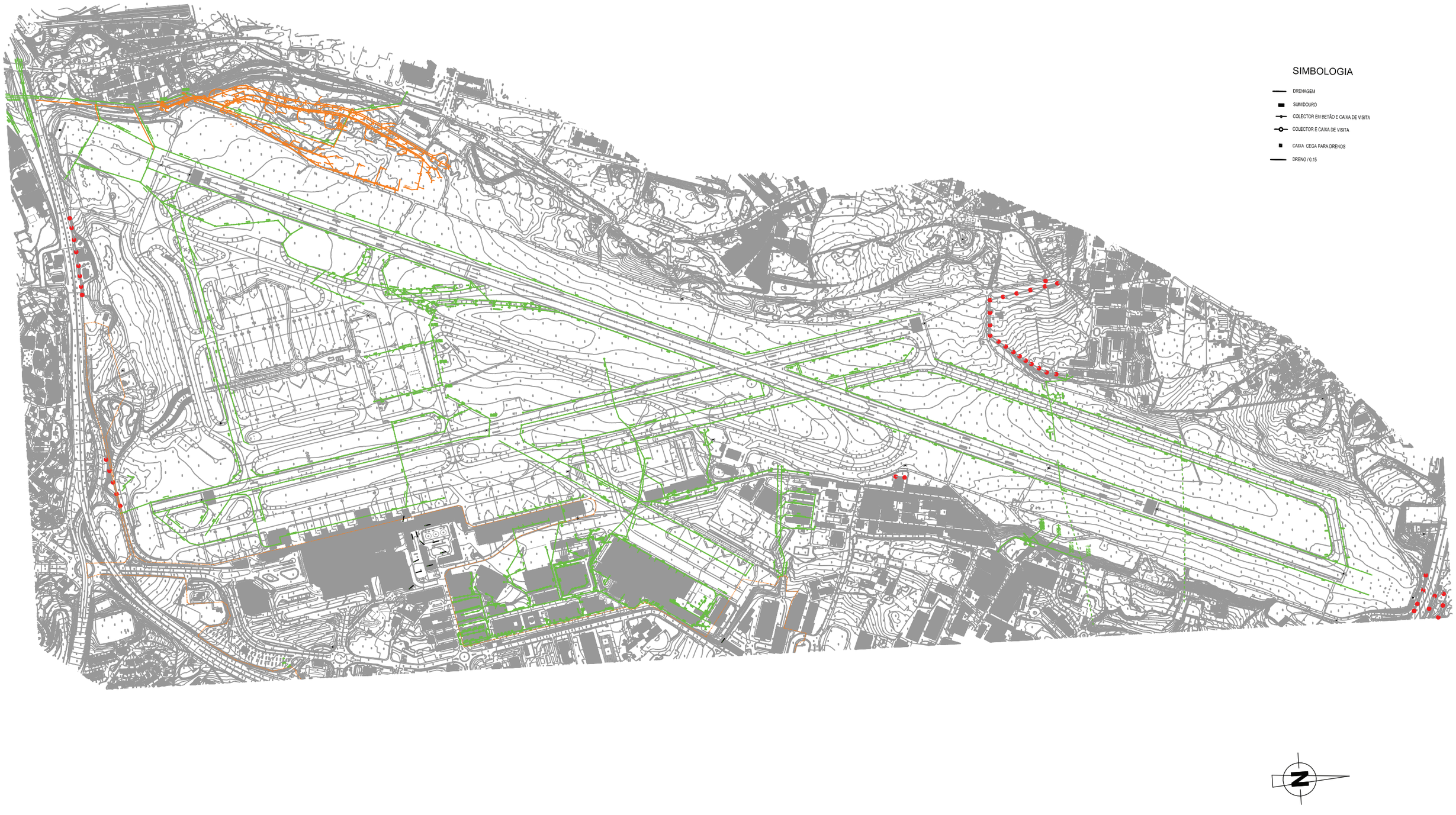
PERFIL TRANSVERSAL TIPO
TWY ”Q”



Pormenor A
Pavimento Tipo **I** (Flexível Resistente)



Planta de Drenagem Superficial do “Lado Ar” do ALS



PUBLICAÇÃO AIP – PORTUGAL

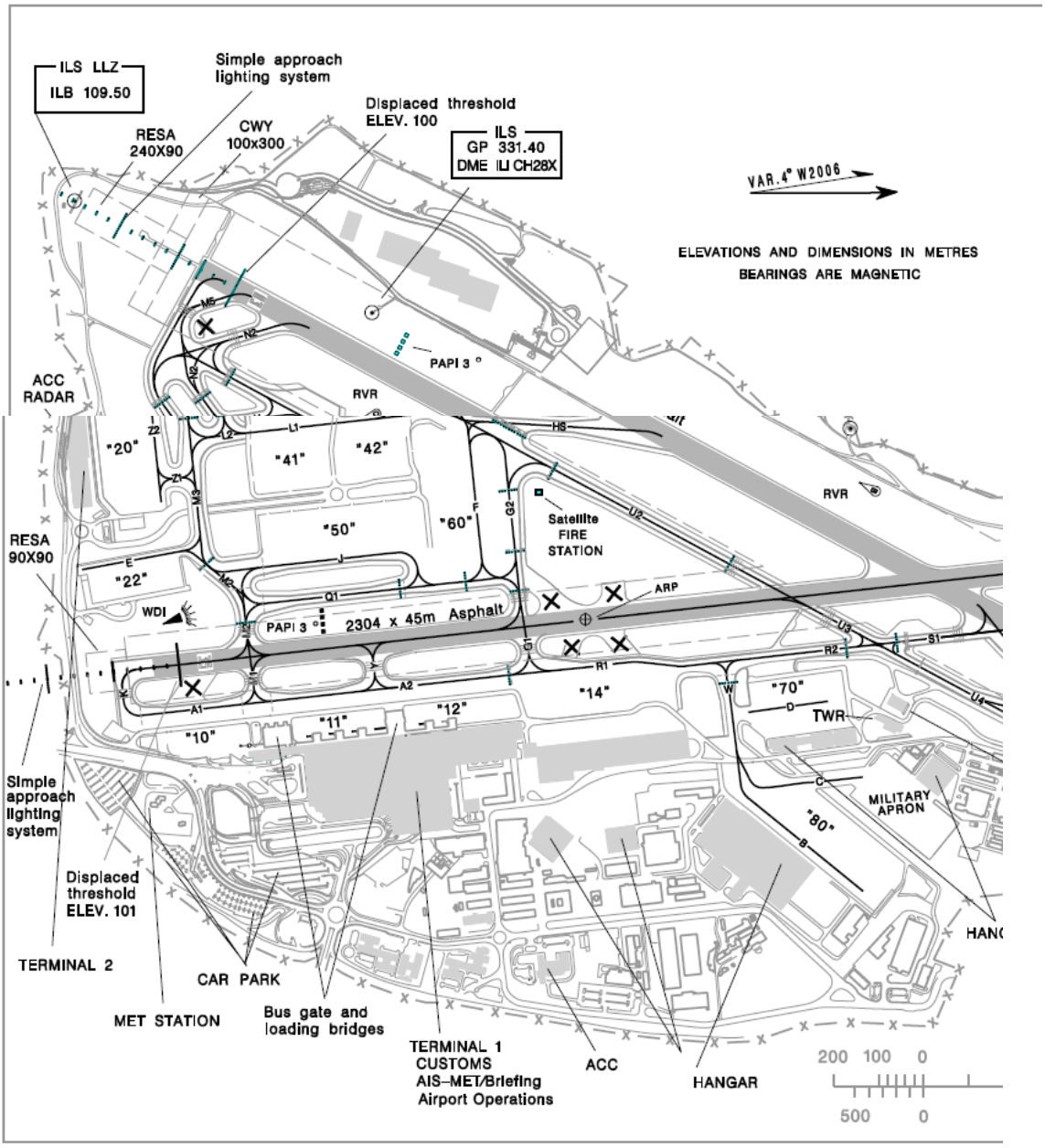
PLANTA DO AEROPORTO DE LISBOA SEGUNDO REGULAMENTAÇÃO ICAO PUBLICADA NO MANUAL AIP.

PÁGINA 1/2

AIP PORTUGAL

LPPT AD 2.24.1A - Aerodrome Chart ICAO

AERODROME CHART – ICAO 38°46'27"N 009°08'03"W ELEV. 114m



PLANTA DO AEROPORTO DE LISBOA SEGUNDO REGULAMENTAÇÃO ICAO PUBLICADA NO MANUAL AIP.

PÁGINA 2/2

LPPT AD 2.24.1A - 1
23-OCT-2008

ATIS – 124.150	TWR – 118.100 /118.500
CLD – 118.950 /118.500	GND – 121.750 /118.500

LISBOA

RWY	DIRECTION	THR	BEARING STRENGTH
03	027°	38°45'59.15"N 009°08'38.04"W	PCN80F/B/W/T
21	207°	38°47'32.36"N 009°07'48.17"W	
17	172°	38°47'10.45"N 009°08'14.17"W	PCN52F/B/W/T
35	352°	38°45'58.79"N 009°07'54.91"W	

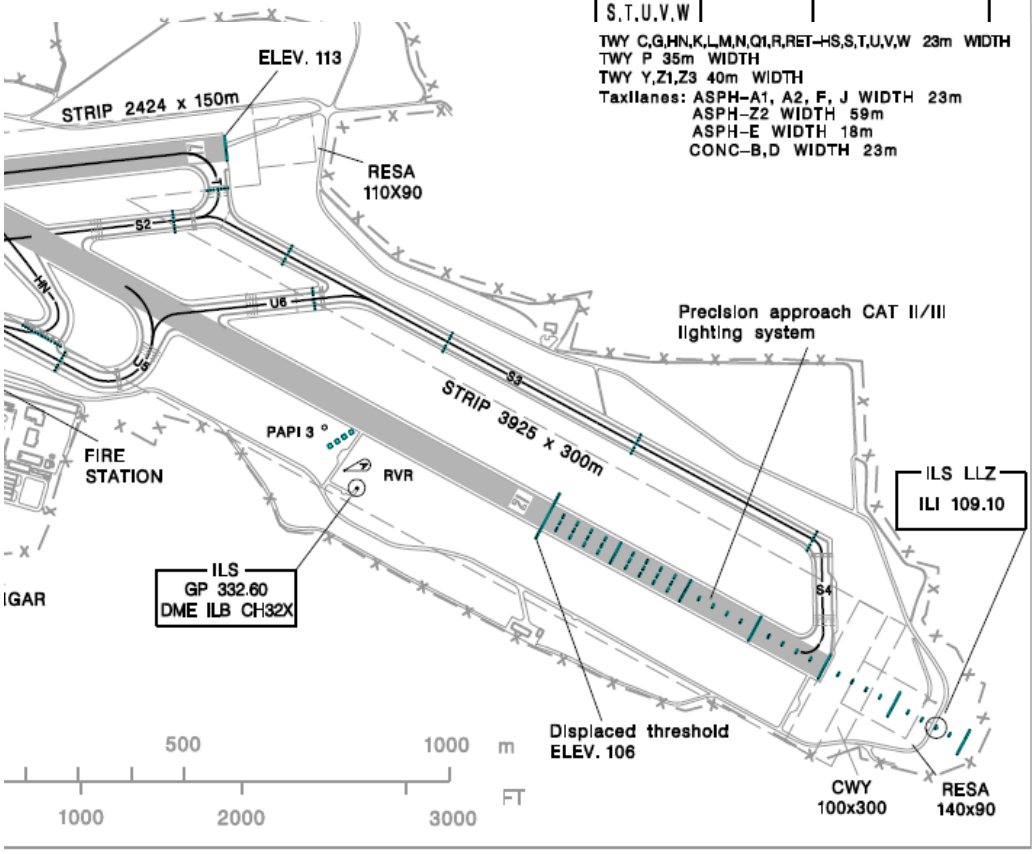
APRONS	SURFACE	BEARING STRENGTH
10,11,12	CONC	PCN60/R/B/W/T
14	CONC	PCN55/R/B/W/T
20	CONC	IN EVALUATION
22	CONC	IN EVALUATION
30	CONC	PCN80/R/B/W/U
40,41,42	CONC	PCN80/R/B/W/U
50	CONC	PCN100/R/B/W/T
60	CONC	PCN65/R/B/W/T
70	CONC	PCN67/R/B/W/T
80	ASPH	PCN60/F/B/W/T

LEGEND

RWY– holding position marking	Precision APCH RWY CATII/III	
	Non–precision and precision APCH RWY CAT I	
Intermediate holding position marking		— —
TWY centre line lights		
TWY and RWY lights		•
Stop bar		•••
APRON 22		"22"

TWY	SURFACE	BEARING STRENGTH
C,G,HN,K, L,M,N,P,Q1 R,RET-HS, S,T,U,V,W	ASPH	As for accompanying runways

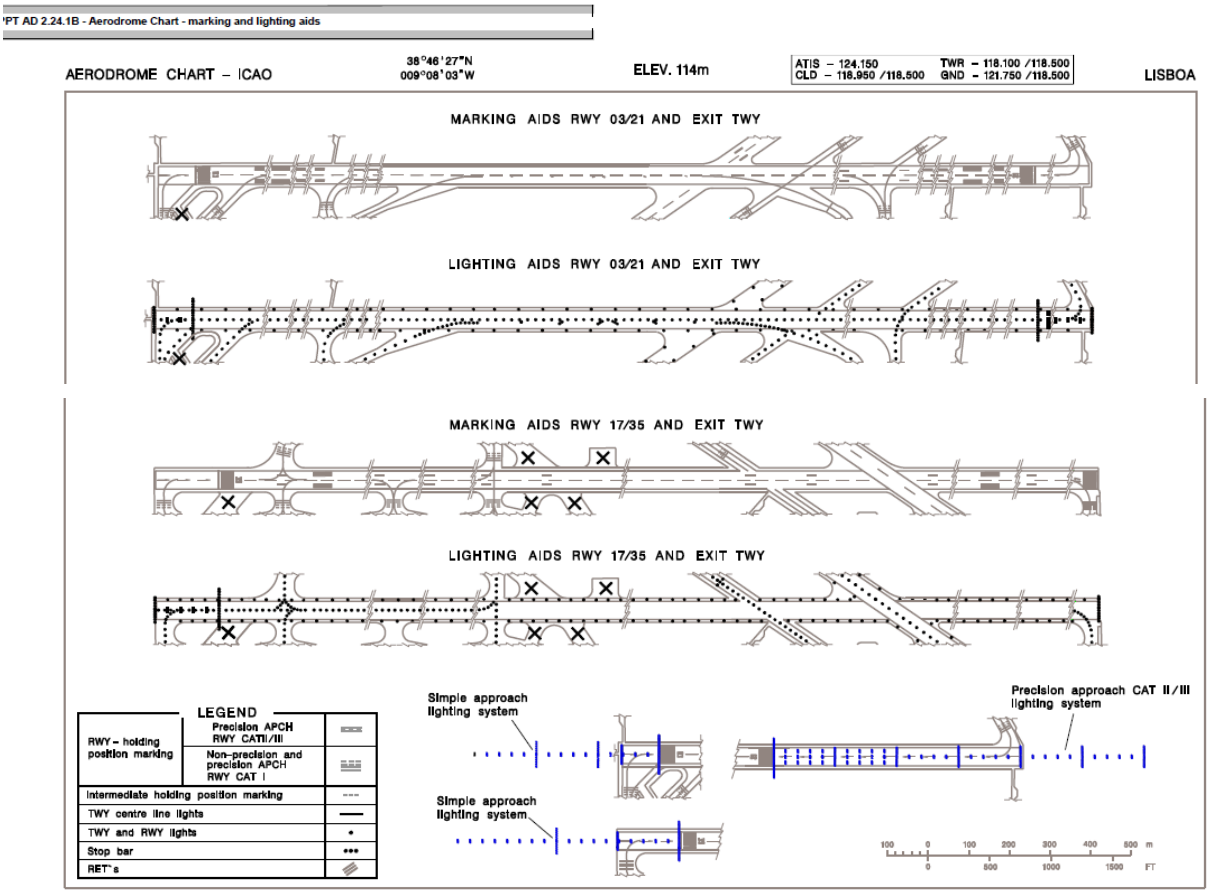
TWY C,G,HN,K,L,M,N,Q1,R,RET–HS,S,T,U,V,W 23m WIDTH
TWY P 35m WIDTH
TWY Y,Z1,Z3 40m WIDTH
Taxilanes: ASPH–A1, A2, F, J WIDTH 23m
ASPH–Z2 WIDTH 59m
ASPH–E WIDTH 18m
CONC–B,D WIDTH 23m



NEW LAYOUT DUE CHANGES ON APRONS AND STANDS DESIGNAV, NEW APRONS 20 AND 22, NEW TAXIWAYS "Y" AND "Z1", NEW TAXILANE "E"

PLANTA DE SINALIZAÇÃO DE PISTA SEGUNDO AS PRÁTICAS ESTABELECIDAS PELA ICAO E PUBLICADA NO MANUAL AIP.

PÁGINA 1/1



Planta de Sinalização Luminosa do “lado Ar” do ALS

DESENHO DE SINALIZAÇÃO DIURNA – POSIÇÃO DE ESPERA

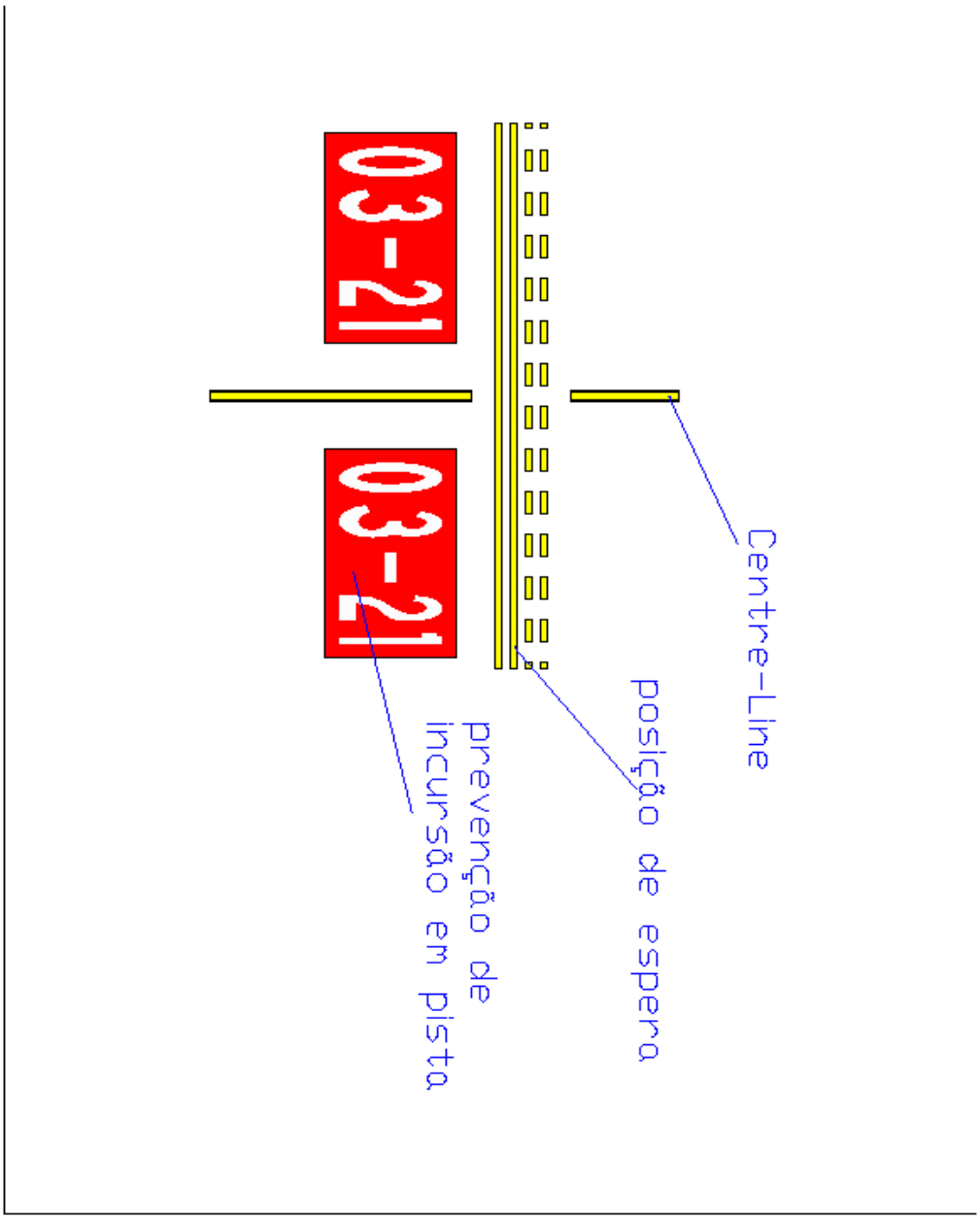


Figura III.1 – Desenho ilustrativo das marcas de posição de espera utilizadas no ALS.

ABERTURA DE POÇO NA PLATAFORMA D DO ALS.

Local: Lisboa **Data de execução:** 28-Set-06

DESIGNAÇÃO	COMP.	LARGURA	PROFUNDIDADE	LOCALIZAÇÃO
PP3	1,02 m	0,67 m	0,90 m	Plataforma D - Aviação geral

Prof. (m)	Descrição	Prof. (m)
0,12	Camadas betuminosas (0,12m)	0,12
0,45	ABGC de natureza calcária (0,33m)	0,45
0,67	Argila fossílifera (0,22m)	0,67
0,90	Areia fina argilo-siltosa (0,23m)	0,90

Tipo de Perfil: Misto

Obs. Pavimento: Fendas

Observações:

Figura III.2 – Ficha de abertura de um poço na plataforma D do Aeroporto de Lisboa a 28 de Setembro de 2006.

MEDIÇÃO DO COEFICIENTE DE ATRITO

GRIP TESTER

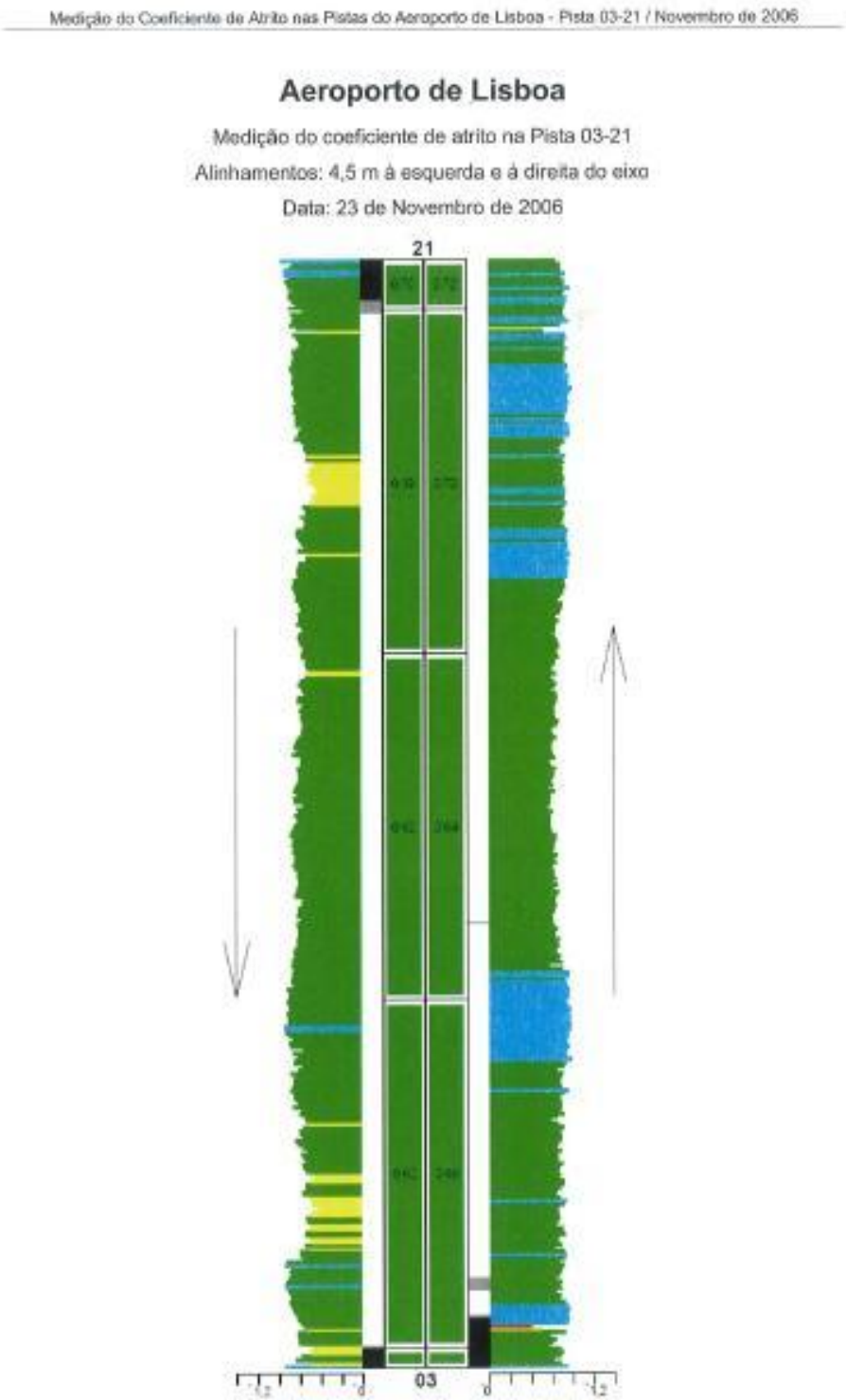


Figura III.3 – Medição do coeficiente de atrito na Pista 03-21 com o equipamento Grip Tester – Novembro de 2006 (Fonte: Departamento de Manutenção do ALS).

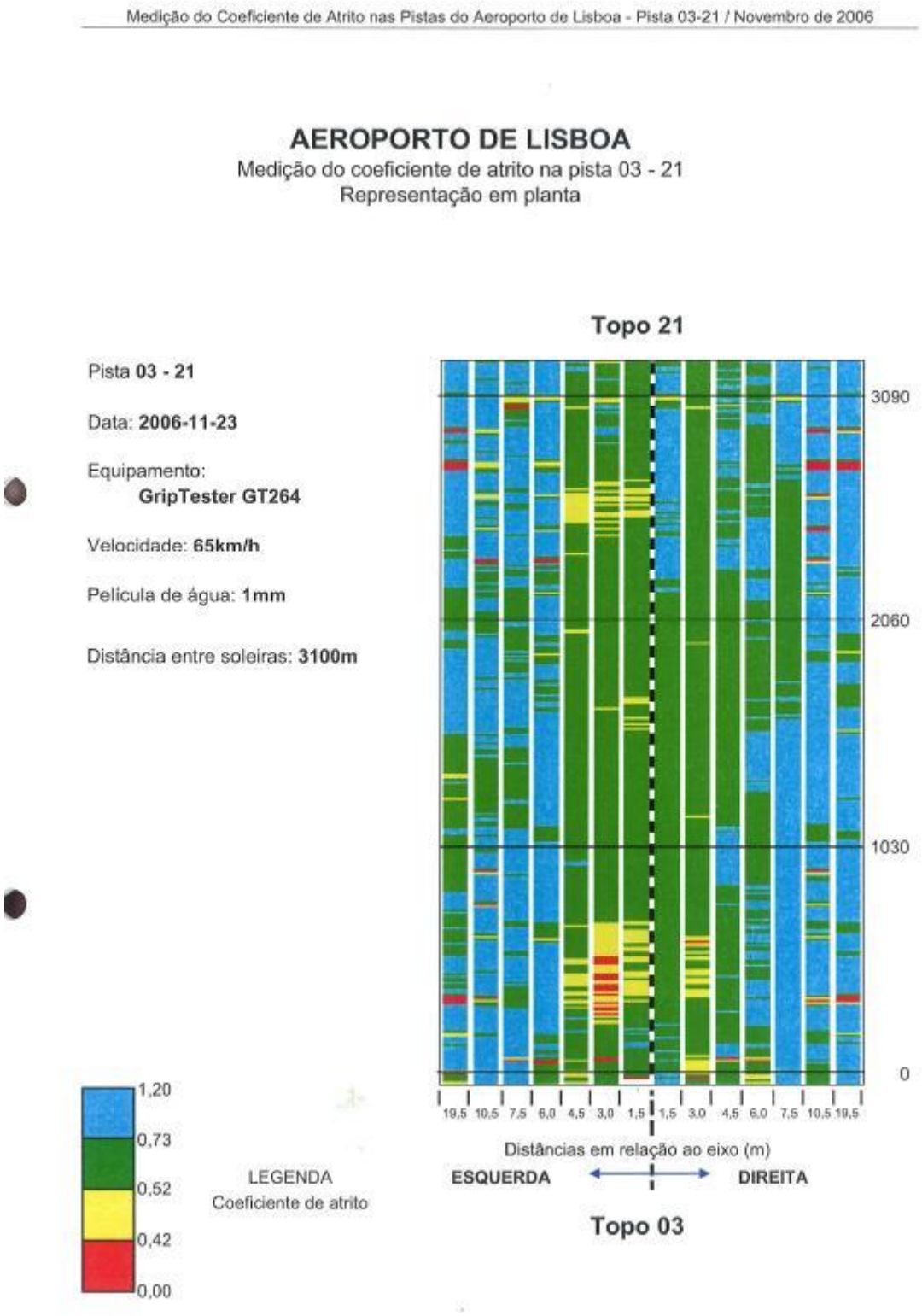


Figura III.4 – Representação em planta da medição do coeficiente de atrito na Pista 03-21 com equipamento *Grip Tester* – Novembro de 2006 (Fonte: departamento de Manutenção do ALS).

AIRPORT SURFACE FRICTION TESTER – ASFT

O *Airport Surface Friction Tester* – ASFT é um veículo que realiza a medição do atrito em contínuo através de uma quinta roda instalada no eixo traseiro, que opera com uma taxa de deslizamento de 15%. Dentro do veículo há um sistema de aspersão que permite a aplicação de uma lâmina de água de espessura aproximada de 1 mm e todas as informações são registadas num computador portátil de bordo. As velocidades de ensaio mais recomendadas são de 65 e 95 km/h.
O ASFT é constituído pelas seguintes unidades:

Figura III.5 – *Airport Surface Friction Tester* – ASFT (Fonte: www.asft.se).

1- **Sistema Computacional:** Processa todas as medições, integra uma impressora e um painel com apenas seis teclas para facilitar a manipulação do sistema. O computador é pré-programado para a medição e apresentação dos resultados e o sistema controla o processo de medição apresentando os resultados no painel do computador ou impressos em papel.
2- **Reservatório de Água:** O ASFT tem um auto-sistema de pulverização de água sobre a superfície da pista em frente à roda de teste. O tanque de água tem volume suficiente para medir mais de 6.000 metros com uma película de água de 1 mm.
3- **Sistema de medição computorizado:** É um sistema computorizado secundário que auxilia o computador principal fazendo medições que são depois convertidas em formato digital e enviadas para o computador principal, juntamente com os dados gerados pelo transmissor. Este sistema também é capaz de executar testes no sistema, o que torna desnecessário qualquer ajustamento.
4- **Unidade Eléctrica:** contém componentes do sistema de medição e é muito fácil de alcançar.
5- **Transmissor de Torque:** O atrito gerado pelo deslizamento da roda na superfície do pavimento gera uma força de torque medida por um sensor de carga.

6- **Sensor de Carga Vertical:** Controla a pressão vertical de sentido descendente criada pelo sistema hidráulico e faz os ajustes necessários à mesma. Garante um contacto absoluto com o terreno sob pressão constante.
7- **Roda de Teste:** A roda de teste situa-se no eixo traseiro e possui um pneu desenvolvido para fins específicos de medição em aeroportos correlacionado com as características de aeronaves. O pneu pode ser de baixa (200 KPa) ou alta pressão (700 KPa).
8- **Sistema Hidráulico:** Proporciona uma pressão constante na roda de teste.

Normas e Recomendações Internacionais

Medição: AC 150-1500-30a
Calibração: AC 150-5320-12c e Anexo 14 (ICAO)
CAP 683

Metodologia de Ensaio

As medições com o ASFT devem ser feitas ao longo de alinhamentos rectos paralelos ao eixo da pista. A Figura abaixo exemplifica o procedimento utilizado em alinhamentos a uma distância de 3 metros de cada lado do eixo da pista. O ensaio é feito duas vezes por alinhamento o que perfaz 4 "corridas de teste".

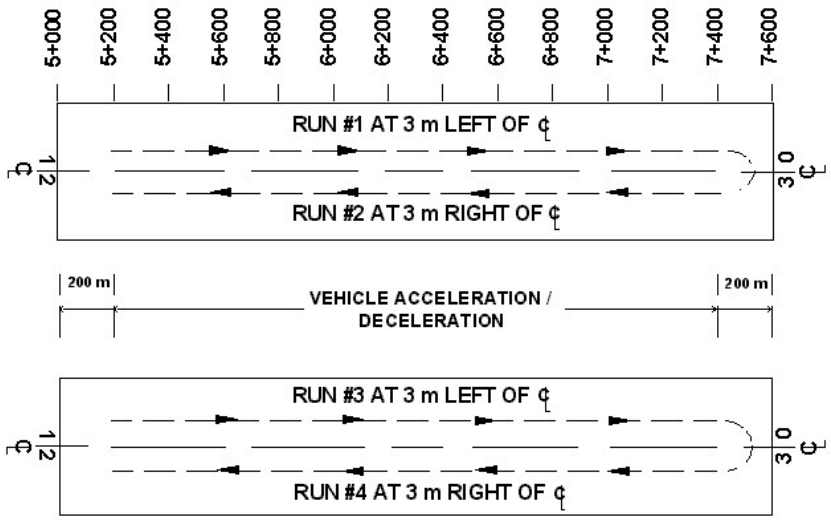


Figura III.6 – Rotina da medição do atrito de uma pista com o ASFT/SFT/RFT (Fonte: www.tc.gc.ca).

SGPA *AIRPAVE* – MAPA BASE

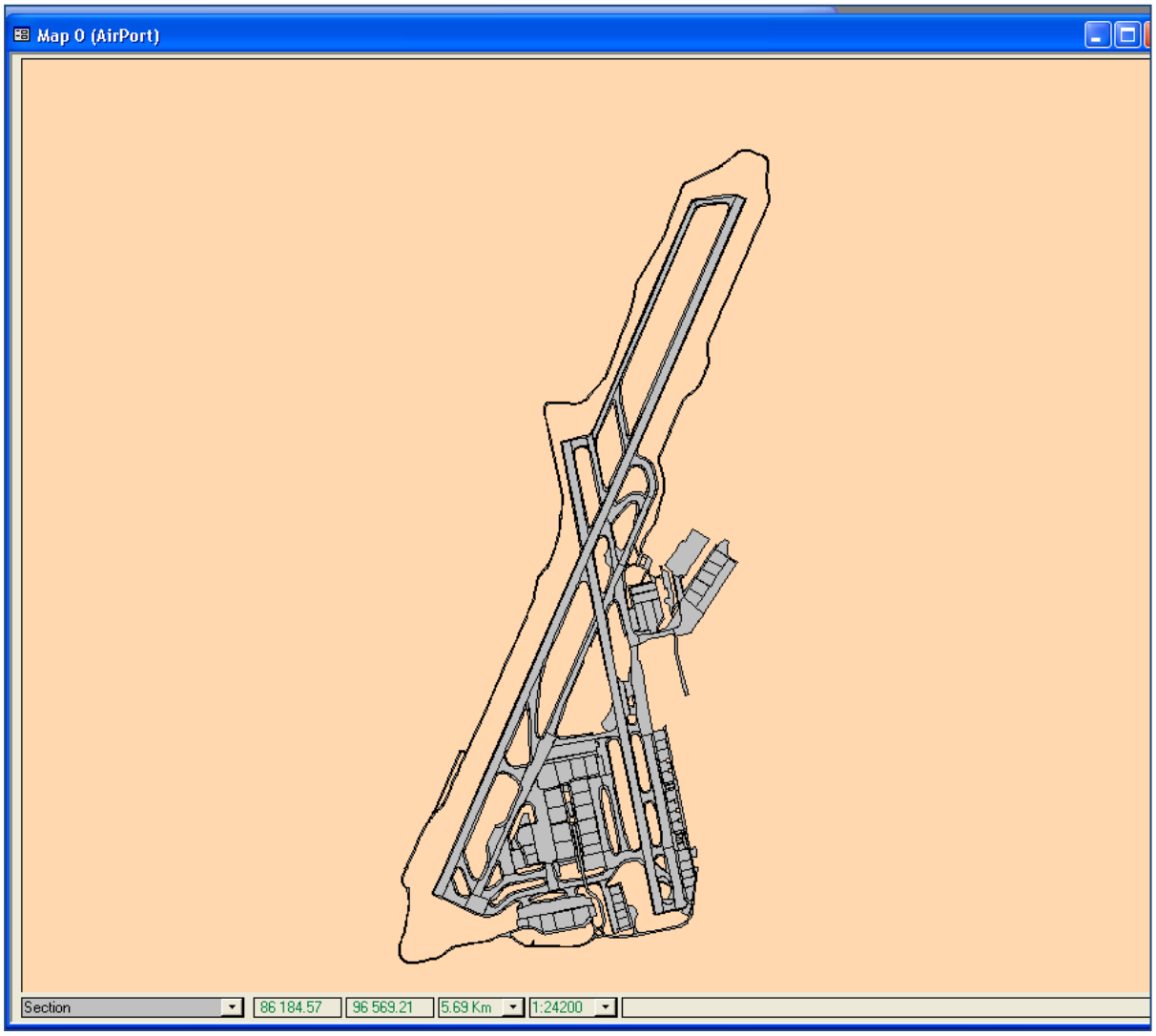


Figura III.7 – Mapa Base do SGPA *AIRPAVE*.

FOLHA DE INSPECÇÃO VISUAL

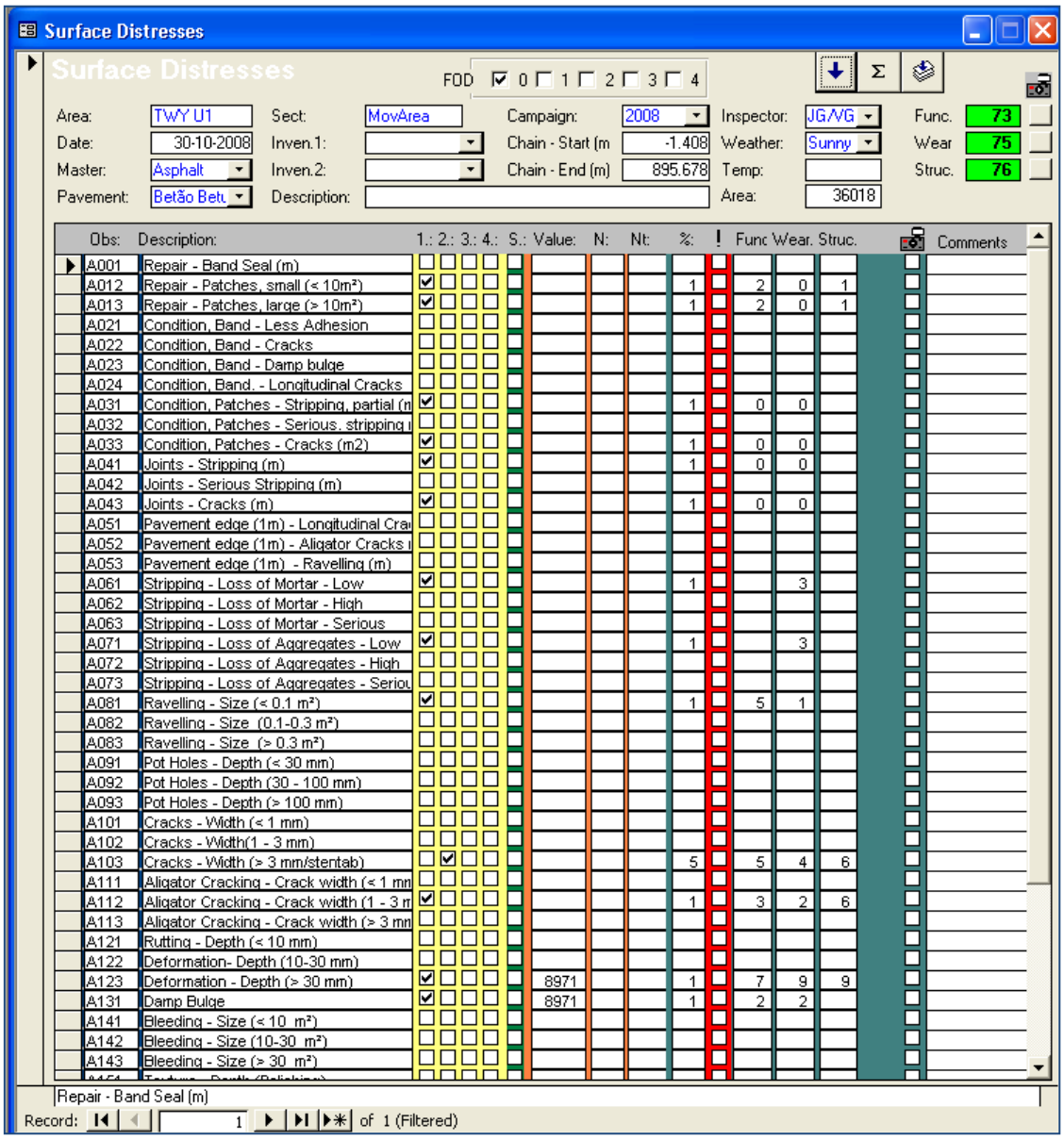


Figura III.8 – Folha de Inspecção Visual para Pavimento Flexível.

EXEMPLOS DE MAPAS DE CONDIÇÃO DO PAVIMENTO APÓS INSPECÇÃO AOS PAVIMENTOS EM 2005 (CONDIÇÃO POR PARÂMETRO)

PARÂMETRO F

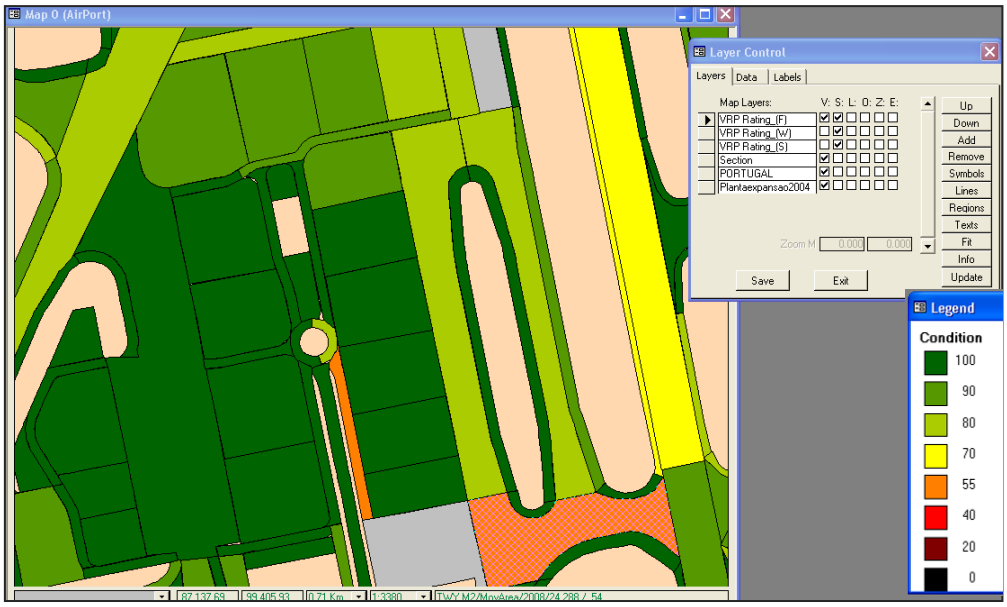


Figura III.9 – Mapa de condição do pavimento para o parâmetro F, Functional.

PARÂMETRO W

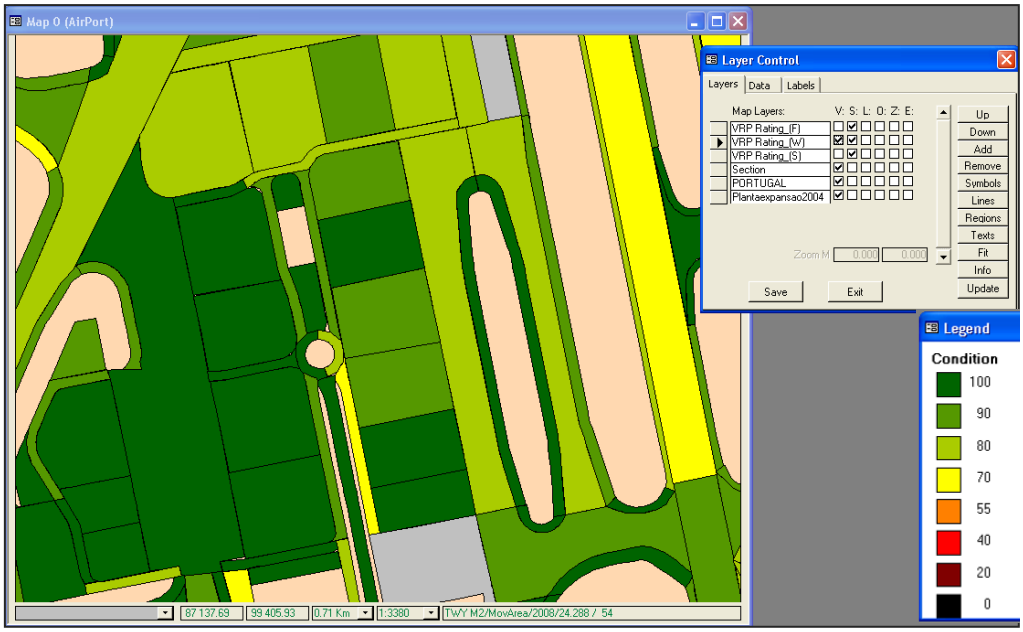


Figura III.10 – Mapa de condição do pavimento para o parâmetro W, Wearing.

PARÂMETRO S

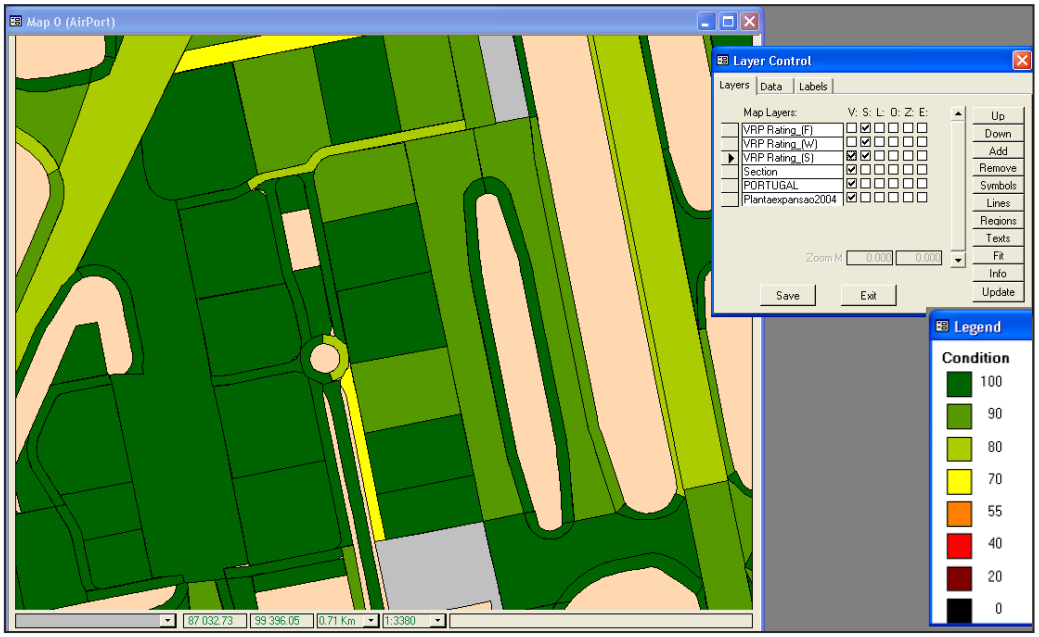


Figura III.11 – Mapa de condição do pavimento para o parâmetro S, *Structural.*

AVALIAÇÃO DA CONDIÇÃO DOS PAVIMENTOS

DEGRADAÇÕES À SUPERFÍCIE

As degradações visíveis à superfície do pavimento podem surgir na origem de um problema estrutural ou apenas funcional do pavimento, dependendo do tipo de degradação, da extensão, gravidade, etc. Desta forma, a sua identificação serve tanto a caracterização estrutural como funcional do pavimento.

- **Inspecção Visual**

As campanhas de Inspecção Visual aos pavimentos permitem detectar a ocorrência de degradações e, quando realizadas com periodicidade adequada às especificidades do aeroporto, permitem intervir atempada e eficientemente na reparação/manutenção das mesmas numa perspectiva preventiva, envolvendo custos menores.

As campanhas de Inspecção Visual funcionam como uma "ferramenta" importante na programação dos restantes ensaios a realizar, uma vez que a caracterização qualitativa e quantitativa das degradações possibilita o alcance de uma perspectiva global da qualidade do pavimento.

Para além das degradações habituais em pavimentos aeronáuticos, é especialmente importante recolher informação sobre a condição das marcas horizontais e o estado das armaduras (no que respeita à existência de depósito de borracha), o estado dos órgãos de drenagem superficial e a existência de FOD. Toda a informação levantada deve ser, preferencialmente, fotografada e georreferenciada.

As metodologias e equipamentos de ensaio utilizados na inspecção visual devem permitir observar e registar inequivocamente todo o tipo de degradações existentes nos pavimentos, bem como a sua área e gravidade, sendo que, a metodologia escolhida pode, ou não, ter em consideração o cálculo de índices de condição do pavimento (do qual é exemplo o PCI, calculado através da norma ASTM D 5340-2004 "*Standard Test Method for Airport Pavement Condition Index Surveys*").

No ALS as inspecções visuais são feitas sob três perspectivas e aquilo que as distingue é o grau de detalhe com o qual são feitas bem como o grau de especialização dos técnicos que as efectuam. Nesta medida, realizam-se 3 tipos de Inspecção Visual (com grau de detalhe crescente): Inspecção Visual de "Manutenção Preditiva", Inspecção Visual "*Airpave",* Inspecção Visual de "Caracterização dos Pavimentos".

As inspecções visuais preditivas do “Lado Ar” são feitas a caminhos de circulação de viaturas; trimestral ou semestralmente; pistas, caminhos de circulação e stands; mensal, trimestral ou semestralmente consoante as necessidades detectadas.

A operacionalidade do SGPA *Airpave* depende maioritariamente da informação recolhida através de inspecções visuais, como tal, foram definidas periodicidades em função da idade dos pavimentos com menos de 10 anos e com 10 ou mais anos.

Em pistas, caminhos de circulação e plataformas com menos de 10 anos, são realizadas inspecções visuais anuais. Para pavimentos do mesmo tipo mas com 10 ou mais anos, as inspecções são feitas semestralmente.

Bermas com menos de 10 anos são inspeccionadas anualmente e com 10 ou mais anos, de 2 em 2 anos.

Em caminhos de circulação de viaturas com idade inferior a 10 anos fazem-se inspecções visuais de 3 em 3 anos, caso tenham 10 ou mais anos as inspecções decorrem de 2 em 2 anos.

As inspecções visuais no âmbito da caracterização de pavimentos não têm periodicidade definida, no entanto, anualmente são realizadas, pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil – LNEC, inspecções visuais às pistas.

DEFLEXÃO

A deflexão constitui um bom indicador da qualidade estrutural do pavimento e a sua medição permite o cálculo de índices internacionalmente utilizados para definir a capacidade estrutural do pavimento tais como o ACN/PCN.

Na avaliação técnica da deformação (deflexão) do pavimento realizam-se ensaios de carga, não destrutivos, com placa, através de equipamentos para o efeito, como o Deflectómetro de Impacto na versão “*Heavy”* ou, na versão mais recentemente, “*Super Heavy”*.

- **Deflectómetro de Impacto Pesado e Super Pesado**

Os Deflectómetro de Impacto Pesado – *Heavy Falling Weight Deflectometer* e Super Pesado – *Super Heavy Falling Weight Deflectometer* são equipamentos muito utilizados e recomendados para a

medição da capacidade de carga de pavimentos aeronáuticos, uma vez que conseguem reproduzir cargas na ordem dos 240 a 300 KN e obter dados em várias localizações num curto espaço de tempo, mantendo operacionais os pavimentos ensaiados.

O controlo de qualidade dos pavimentos construídos/reabilitados do ALS é realizado através de ensaios com o Deflectómetro de Impacto Pesado (Figura III.12) de modo a garantir que são respeitados os valores de carga preconizados nos cadernos de encargos.

Figura III.12 – Ensaio com Deflectómetro de Impacto na Plataforma 14 do ALS.

O ensaio com o Deflectómetro de Impacto consiste numa força de impulso gerada pela queda de uma massa, a uma determinada altura (h), sobre um conjunto de amortecedores e, na medição das deflexões daí resultantes na superfície do pavimento. A força é transmitida através de uma placa circular, de 45 cm de diâmetro, que simultaneamente com outros sensores (geofones) alinhados ao longo da superfície, medem a deflexão originada no pavimento pelo impacto.

A escolha da carga de pico e o posicionamento dos geofones são feitos em função da classe/tipo de pavimento em avaliação e da sua resposta expectante, assim como as metodologias de medição aplicadas. O ALS possui classes de pavimentos diferentes, pelo que deve ter esse factor em consideração durante a realização dos ensaios.

Pavimentos flexíveis, rígidos e semi-rígidos

Nas pistas devem ser ensaiados 7 alinhamentos paralelos ao eixo da pista de 0, 4, 10 e 20 m para cada lado. A distância entre os pontos de ensaio deve ser de 50 m, nos alinhamentos situados no eixo. A 4 m do eixo, os pontos de ensaio devem estar distanciados de 75 m ao mesmo tempo que se encontram desfasados de 25 m dos restantes alinhamentos.

Nos caminhos de circulação é recomendável o ensaio de 5 alinhamentos, 1 no eixo (0 m) e 4 paralelos a 4 e 10 m de cada lado. A distância entre pontos de ensaio deve ser de, 50 m no alinhamento a 4 m do eixo, e de, 75 m nos restantes alinhamentos.

O número total de ensaios por alinhamento não deve ser inferior a 10, logo em situações de comprimentos inferiores a 300 m, o intervalo entre ensaios deve ser inferior a 25 m.

Pavimentos semi-rígidos

Para além dos pontos referidos anteriormente, em pavimentos semi-rígidos é recomendável a realização de ensaios nos três alinhamentos centrais em pontos afastados de 5 m e desfasados entre si de 2,5 m, numa extensão de 100 m. Em zonas de toque ou de estacionamento ensaiam-se grelhas quadradas numa extensão de 50 m, formadas por 6 alinhamentos. São feitas medições em pontos afastados entre si de 5m e desfasados de 2,5 m entre alinhamentos de modo a obter uma caracterização do pavimento o mais representativa possível.

Pavimentos rígidos em lajes de betão de cimento

Em pavimentos rígidos ensaiam-se um conjunto de lajes aleatoriamente, numa determinada percentagem, em função do número de lajes totais. Se o número de lajes for inferior a 500, ensaiam-se 10% do total; entre 500 a 2000, ensaiam-se 5% do total e para números superiores a 2000, ensaiam-se 3% do número total de lajes.

Deve ter-se em consideração as zonas do pavimento com maior solicitação por parte do tráfego de aeronaves de forma a obter maior densidade de ensaios nessas zonas (pelo menos 15 lajes).
Nas lajes de betão de cimento são feitas medições no centro, para todas as lajes, e nas proximidades dos bordos livres (juntas de construção, retracção ou dilatação), laje sim, laje não, a fim de verificar a transferência de carga na junta entre lajes adjacentes.

Na avaliação de transferência de cargas entre lajes, é importante que a placa de carga do Deflectómetro de Impacto esteja posicionada próximo da junta a ensaiar de tal forma que os geofones mais próximos se situem em ambos os lados da junta, o primeiro na laje carregada e o segundo na laje não carregada.

No que diz respeito às condições de ensaio, deve ter-se em atenção a regularidade da superfície do pavimento que está em contacto com a placa de carga, e a presença de água que, modificará os resultados de ensaio.

Após a conclusão dos ensaios e normalização das deflexões medidas, com correcção para a temperatura padrão de 21,1ºC (de acordo com a metodologia AASHTO), deve ser feito o zonamento do pavimento, do ponto de vista estrutural, onde cada um dos sub-trechos homogéneos é tratado estatisticamente em termos de deflexões (valores máximos, médios, mínimos, desvio padrão, etc.).

CONSTITUIÇÃO DOS PAVIMENTOS

Embora os dados de projecto, constituam uma referência, não são, em alguns casos, um retrato fiel das características reais dos pavimentos em termos dos materiais constituintes e das espessuras das camadas. Para além disso, muita da informação necessária e existente reside apenas na experiência e conhecimentos adquiridos ao longo dos anos por técnicos responsáveis pela reparação e manutenção desses mesmos pavimentos.

A falta de informação ou homogeneidade de resultados obtidos em campanhas de caracterização funcional e estrutural dos pavimentos poderá levar à necessidade de realização de um plano de prospecção a fim de completar os dados existentes.

Seleccionados os locais considerados representativos e/ou onde se detectaram anomalias, é possível recolher amostras dos trechos de pavimento em estudo através de um conjunto de ensaios de avaliação mais pormenorizada, como o radar de prospecção e/ou sondagens por poço ou à rotação e avaliá-las em laboratório.

- **Radar de Prospecção**

O equipamento Radar de Prospecção permite a detecção em contínuo da posição das camadas de pavimento abaixo da sua superfície, à velocidade de tráfego e de forma não destrutiva. O seu princípio de funcionamento assenta na emissão de impulsos de alta frequência sob forma de onda sinusoidal que se propaga através das várias camadas, sendo parte reflectida na fronteira entre camadas. À medida que a onda se propaga através de várias camadas sofre mudanças de velocidade e de intensidade devido a fenómenos da absorção e dissipação, sendo reflectida na delimitação entre camadas de materiais com características dieléctricas diferentes. Os dados relativos às espessuras das camadas constituintes dos pavimentos são geralmente obtidos ou confirmados através da realização de sondagens a rotação e/ou poços.

- **Sondagens por Poço e à Rotação**

As campanhas de prospecção em pavimentos aeronáuticos podem realizar-se para completar informação recolhida noutros ensaios (Deflectómetro de Impacto, Radar de Prospecção, Inspecção Visual) através da recolha de amostras de material, para caracterização da sua estrutura em laboratório.

Os poços devem ser realizados abrangendo a berma e parte do pavimento (pelo menos 0,3 m do pavimento) com o objectivo de medir as espessuras das camadas que o constituem (camadas betuminosas, camadas com materiais tratados com cimento, caso existam, e camadas granulares), definir a natureza dos materiais envolvidos e recolher amostras para posteriores ensaios laboratoriais.

Aquando da sua execução, podem ser realizados ensaios de campo para a determinação da baridade seca e a humidade "*in situ*" em todas as camadas granulares ou solos para posterior determinação do respectivo índice de vazios.

Na Figura III.2 deste anexo pode ver-se a imagem de abertura de um poço no ALS e a respectiva ficha de caracterização do solo.

As sondagens à rotação têm por objectivo a extracção de tarolos de misturas betuminosas e misturas com ligantes hidráulicos, caso existam, para medição das espessuras das camadas, caracterização dos materiais em laboratório e para observação da extensão em profundidade das patologias verificadas à superfície bem como o estado de ligação das interfaces entre as diferentes misturas. Este tipo de sondagens deve conseguir intersectar todas as camadas tratadas com ligantes. Por se tratar de um ensaio destrutivo, a reparação dos locais sujeitos à prospecção devem ser reparados em perfeitas condições imediatamente após a realização de sondagens.

- **Ensaios de laboratório**

Os ensaios de laboratório permitem, com base na informação recolhida nas sondagens, fazer a caracterização dos materiais e respectivas espessuras, podendo observar-se o seu estado e eficiência das regas de colagem.
As amostras recolhidas devem ser fotografadas e registadas com informação sobre a localização e data de extracção.
As normas de referência e vigentes em Portugal para o ensaio de solos, materiais granulares, misturas betuminosas e misturas com ligantes hidráulicos estão compiladas no ANEXO II.

TEXTURA E REGULARIDADE DO PAVIMENTO

A textura, regularidade longitudinal e transversal caracterizam essencialmente o aspecto funcional dos pavimentos, no entanto, a medição da profundidade dos cavados de rodeiras (regularidade transversal) pode contribuir para uma melhor compreensão da condição estrutural do pavimento.

Ao longo dos anos, têm vindo a ser desenvolvidos uma geração de equipamentos que permitem a medição em simultâneo, e em contínuo, de vários parâmetros de estado, nomeadamente, os acima referidos.

A utilização crescente de veículos multifunções, que permitem a observação de vários parâmetros em simultâneo, através da integração de diversas tecnologias, revela-se vantajosa relativamente ao factor tempo (tendo em conta a frequência de tráfego que normalmente existente no sector aeroportuário) e em termos económicos (uma vez que, apenas um equipamento permite a realização de diversos ensaios).

- **Perfilómetro laser**

O perfilómetro laser, habitualmente instalado na parte dianteira de um veículo, consiste numa viga de alumínio equipada com sensores laser, desenhados e instalados criteriosamente para medições em superfícies de pavimentos.

Os veículos equipados com perfilómetro laser, acelerómetros e dispositivos de medição de velocidade, entre outros, conseguem recolher dados sobre o perfil da superfície do pavimento ao longo de alinhamentos paralelos no sentido de deslocação do veículo.

O processamento dos dados obtidos, através do software integrado no equipamento, deve permitir o cálculo de parâmetros de avaliação da irregularidade longitudinal, como por exemplo o IRI, a caracterização dos cavados de rodeiras, e a medição da textura para obtenção dos parâmetros MPD – *Mean Profile Depth* e SMTD – *Sensor Measured Texture Depth*.

No ensaio com o perfilómetro laser, as pistas e caminhos de circulação devem ser medidos em alinhamentos de 3 m de largura, aproximadamente. As plataformas de estacionamento e outras áreas poderão ser também ser medidas em linhas de 3 m, caso se detectem problemas através das inspecções visuais. O intervalo utilizado para a obtenção da textura, irregularidade longitudinal e cavados de rodeira é de 20 m.

COEFICIENTE DE ATRITO

O atrito é, sem dúvida, um dos parâmetros funcionais mais importantes para a segurança de circulação de aeronaves. A medição do atrito longitudinal; apreciado através do coeficiente de atrito longitudinal, cujo foco de estudo é a aptidão dos pavimentos à travagem, tem o maior interesse no âmbito aeroportuário.

Por se tratar de um parâmetro cuja evolução é condicionada pelos mais diversos factores (condições climáticas, tipo de pavimento e materiais usados na construção, existência de rodeiras, drenagem insuficiente, descontinuidades devido ao fendilhamento ou outro tipo de degradação que altere as propriedades da superfície, e ainda, o depósito de contaminantes), a sua caracterização é fundamental.

- ***Grip Tester* e *Airport Surface Friction Tester* – ASFT**

O *Grip Tester* e o *Airport Surface Friction Tester* - ASFT são equipamentos usados para medir o atrito longitudinal em contínuo de pavimentos aeronáuticos, cujo ensaio e metodologia são reconhecidos internacionalmente e aprovados pela ICAO e FAA.

No ALS, as medições do coeficiente de atrito são realizadas recorrendo ao uso do *Grip Tester* (Figura III.13 à esquerda), para caracterização periódica dos níveis de atrito, e do ASFT (Figura III.13 à direita), para verificação dos valores de atrito após campanhas de remoção de borracha. No ANEXOIII pode ler-se a descrição do equipamento ASFT.

Figura III.13 – Ensaio com o equipamento *Grip Tester* no ALS à esquerda e, imagem do ASFT idêntico ao usado no ALS, à direita.

Em ambos os casos, os equipamentos são colocados a circular a uma determinada velocidade de teste, em alinhamentos paralelos ao eixo da pista previamente definidos.

No caso do *Grip Tester* são feitas medições trimestrais (de acordo com recomendações dadas pela FAA) ao longo de alinhamentos de 1.5 m, 3 m, 4.5 m, 6 m, 10.5 m e 19.5 m de cada lado do eixo. Na pista 03-21 é ensaiada a extensão total entre soleiras correspondente a 3100 m e na pista 17-35 uma extensão entre soleiras de 2250 m. Nas Figuras III.3 e III.4 pode ver-se o mapa de resultados proveniente de uma medição realizada com este equipamento na pista 03-21 em Novembro de 2006.

INFORMAÇÃO GERADA PELOS ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DOS PAVIMENTOS

A informação gerada aquando da realização de um ensaio é extremamente importante se pensarmos que as análises técnicas futuras dependem da quantidade e qualidade dos dados obtidos, que por sua vez alimentam base de dados dos pavimentos.

Os softwares dos equipamentos utilizados devem permitir o registo de todos os dados inerentes ao ensaio e gerar os *outputs* necessários à integração da informação num sistema de gestão e de informação, tais como:

- referenciação geográfica dos pontos ou alinhamentos ensaiados;
- data de realização dos ensaios e identificação do operador/técnico;
- identificação do tipo de infraestrutura (pista, caminho de circulação, placa de estacionamento, ou outro);
- comprimento e largura da infraestrutura;
- tipo de pavimento (flexível, rígido, outro);
- identificação da secção em análise;
- identificação, registo e visualização das condições de ensaio;
- hora e minuto de realização do ensaio em cada ponto ou alinhamento;
- descrição das condições atmosféricas (pluviosidade, existência de água no pavimento, exposição solar, nebulosidade, temperatura do ar e do pavimento, se necessário).

ANEXO IV – DEGRADAÇÕES DOS PAVIMENTOS AERONÁUTICOS

PAVIMENTOS RÍGIDOS

a. Fendilhamento

O fendilhamento das lajes tem muitas vezes origem em fenómenos de retracção, encurvamento e fadiga das lajes de betão.

A retracção dá-se por acção da temperatura e provoca fendilhamento no pavimento quando o movimento deste é impedido. As fendas de retracção podem aparecer mesmo em pavimentos bem executados, apresentando-se superficialmente e sem consequências para o bom desempenho funcional e estrutural do pavimento.

O encurvamento das lajes tem origem na ocorrência de gradientes de temperatura entre as faces superior e inferior da laje conduzindo a esforços suplementares. Embora este movimento esteja limitado pelas disposições construtivas das juntas, por meio da colocação de barras de transferência de cargas, durante a noite pode ocorrer encurvamento para o interior com esforços de tracção na face superior da laje, que tendencialmente são mais desfavoráveis nos bordos e cantos da laje. Durante o dia dá-se o encurvamento na direcção oposta, com acréscimo do esforço de tracção na face inferior da laje, quando são aplicadas as cargas do tráfego. A repetição das tensões de tracção, provocadas pela passagem de veículos no pavimento ao longo da sua vida útil, leva à fadiga das lajes de betão.

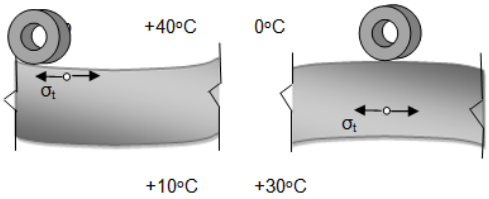


Figura IV.I – Encurvamento das lajes.

Num pavimento bem dimensionado, o fendilhamento por fadiga deve ocorrer apenas na fase final da vida da estrutura, no entanto o subdimensionamento do pavimento ou um processo construtivo deficiente, pode levar a que esta situação ocorra prematuramente.
Dentro da categoria “fendilhamento” distinguem-se vários tipos de degradações, que se descrevem em seguida.

- **Fendilhamento Longitudinal, Transversal e Diagonal**

Caracterizam-se por fendas que dividem o pavimento em dois ou três pedaços longitudinalmente, transversalmente ou diagonalmente. O seu aparecimento pode indicar a aplicação de más técnicas construtivas ou camadas subjacentes com pouca capacidade de suporte.

- **"Lasqueamento" da Laje – *"Shattered Slab"***

O "lasqueamento" da laje caracteriza-se pela quebra da laje em quatro ou mais pedaços provocado pela intersecção de fendas entre si. Este tipo de degradação resulta geralmente da sobrecarga do pavimento e/ou de uma insuficiente capacidade de suporte da fundação.

- **Fissuras nos Cantos**

A repetição de carga combinada com a perda de apoio e encurvamento da laje provoca fissuração nos seus cantos. Este tipo de ruptura caracteriza-se por fendas que interceptam as juntas a uma distância inferior ou igual à metade do comprimento da laje de ambos os lados, medidos a partir do canto. Geralmente atingem toda a espessura da placa.

- **Danos na Selagem das Juntas**

Verificam-se danos na selagem das juntas quando existe infiltração de água ou incrustação de agregados nas mesmas. Este preenchimento das juntas com material, juntamente com a acção mecânica dos pneus, resulta no esmagamento do betão uma vez que impede a sua expansão. Por outro lado, a infiltração de água pode levar à bombagem de finos que com a repetida actuação das cargas provoca uma contínua alteração da granulometria da fundação na proximidade das juntas, causando um desnível gradual entre os respectivos bordos. A largura inadequada das juntas, a escolha errada do tipo de selante e a sua aplicação incorrecta são alguns dos factores que contribuem para este tipo de degradação.

- **Durabilidade ao Fendilhamento – *"Durability (D) Cracking"***

Este tipo de degradação apresenta-se como um conjunto de fendas que ocorrem na vizinhança e paralelamente a uma junta ou fenda linear. Causada pela incapacidade do betão de resistir a factores ambientais, como os ciclos de congelamento e descongelamento que causam variações volumétricas nos agregados, este tipo de fendilhamento pode levar à desintegração do betão aproximadamente entre 30 a 60 cm da junta ou fenda.

b. Desagregação

- **Fendilhamento com Perda de Material e Pele de Crocodilo**

O fendilhamento com perda de material e a pele de crocodilo levam à desintegração e perda da superfície de desgaste. A má cura do betão bem como os ciclos de congelamento e descongelamento podem estar na origem destas degradações.
A reactividade álcali-sílica (RSA) é outro dos factores associados ao aparecimento da pele de crocodilo. Trata-se de reacção química que ocorre entre a sílica reactiva existente em determinados tipos de agregados usados no betão e o álcali (sódio e potássio) presente no cimento *portland*. Da reacção resulta a formação de um gel que ao absorver água expande e exerce pressão no betão conduzindo-o à ruína. A sua matriz é deteriorada e enfraquecida apresentando aspecto semelhante ao mostrado na Figura IV.2.

Figura IV.2 – Fendas associadas à RAS orientadas no sentido longitudinal da estrutura, à esquerda e provetes extraídos da estrutura ao lado com profundidade de fendas apresentadas entre 3 a 6 cm, à direita (Rogertec).

- **"Lasqueamento" da Junta**

O lasqueamento da junta é o colapso das bordas das placas numa vizinhança da junta que pode ir até uma distância de 60 cm desta. Como é visível na Figura IV.3, o lasqueamento cruza a junta da laje com um determinado ângulo. Este tipo de degradação resulta muitas vezes da infiltração de materiais incompressíveis na junta, tensões excessivas, ou fragilidade do betão causada pela excessiva trabalhabilidade. Também pode dar-se o caso deste tipo de degradação estar associada a deficiências na realização das juntas, sendo que o mau alinhamento das barras de transferência de carga pode estar na origem deste problema.

Figura IV.3 – Lasqueamento da junta pouco severo (Pavement).

- **"Lasqueamento" do Canto**

O lasqueamento do canto é a desagregação da laje numa vizinhança do canto até 60 cm da mesma distinguindo-se por isso da "fissura no canto". O seu aparecimento está associado aos mesmos fenómenos que dão origem à degradação "lasqueamento da junta" e descritos anteriormente.

- **Empolamento**

Ocorre geralmente em clima quente devido a forças de compressão que se instalam no betão e provocam a sua expansão numa fenda transversal ou junta que não é suficientemente ampla para permitir este movimento na laje. O empolamento caracteriza-se por um movimento ascendente nas

bordas da laje ou ruptura que danifica o pavimento e pode causar danos severos nos veículos circulantes, pondo em causa a sua segurança, devendo ser imediatamente reparado, logo que detectado.

c. Deformação

A superfície do pavimento pode apresentar uma diferença de posicionamento relativamente à sua posição original, resultando numa deformação. Na origem deste fenómeno podem estar diversos factores, tais como: a distorção da fundação, a presença de solos expansivos e/ou susceptíveis à água ou mesmo devido a ciclos de congelamento/descongelamento. Em seguida, descrevem-se os tipos de degradações que se enquadram nesta classe.

- **Bombagem**

A deflexão da laje, mediante a acção da carga do pneu, pode impulsionar a subida de água e material fino através das juntas ou fendas do pavimento (bombagem). À medida que a água vai saindo, juntamente com partículas de areia, saibro, argila ou silte, existe uma progressiva perda de capacidade de suporte do pavimento que pode levar ao fendilhamento. A existência deste fenómeno, evidenciado pela presença de manchas superficiais com material da sub-base ou do leito do pavimento, indica a presença de água no seu interior, construção inadequada das juntas ou deficiência na transferência de cargas entre lajes.

- **Escalonamento**

O escalonamento é caracterizado pela ocorrência de deslocamentos verticais e permanentes entre lajes adjacentes, na região das juntas ou eventualmente numa fenda, resultante da expansão dos solos, perda de finos e/ou transferência de carga através das barras ou passadores. Ocorre sob a acção repetida das cargas quando a camada de sub-base ou solo de fundação é constituída por materiais erodíveis.

d. Perda de Resistência à Derrapagem

A resistência à derrapagem é a capacidade que o pavimento tem de fornecer as características adequadas de aderência sob todas as condições meteorológicas e está relacionada com a textura do pavimento e a presença de contaminantes. A qualidade da superfície do pavimento, no que diz respeito à aderência, diminui mediante a verificação dos problemas enunciados em seguida.

- **Polimento dos Agregados**

Alguns agregados ficam rapidamente polidos com a acção continuada do tráfego acentuando o risco de derrapagem e diminuição da circulação em segurança das aeronaves. Isto porque, o betume ao tornar-se rígido com o envelhecimento, solta-se deixando os agregados salientes. Se estes forem pouco resistentes ao desgaste passam a apresentar uma superfície lisa e pouco angulosa conferindo ao pavimento uma diminuição da resistência à derrapagem (atrito).

- **Contaminantes**

O depósito de borracha sob o pavimento é um problema corrente nas pistas aeronáuticas. O atrito pneu-pavimento gerado nas operações de aterragem e descolagem tem grande influência neste processo, reduzindo significativamente os valores da macrotextura e as qualidades drenantes do pavimento (Figura IV.4). O derrame de óleos e outros agentes contaminantes também aceleram o processo de degradação do pavimento.

Figura IV.4 – Depósito de borracha num pavimento aeroportuário.

PAVIMENTOS FLEXÍVEIS

a. Fendilhamento

O fendilhamento é geralmente um dos primeiros sinais da redução da qualidade estrutural do pavimento flexível. Engloba vários tipos de degradações que se classificam quanto à sua origem e localização. Na maioria dos casos, o fendilhamento resulta da fadiga dos materiais das camadas betuminosas, devido à repetição dos esforços de tracção por flexão das camadas (Branco, et al., 2006).

- **Fenda Longitudinal e Transversal**

Fendas isoladas podem surgir no pavimento posicionando-se na superfície de uma forma transversal ou longitudinal. As fendas longitudinais tendem a aparecer junto ao eixo da via ou junto à berma. Estes tipos de fendas estão muitas vezes associadas a fenómenos de contracção ou de retracção da superfície das camadas betuminosas. Embora pareçam ter o mesmo significado, a contracção está associada à flutuação térmica nas camadas do pavimento ao passo que a retracção surge com a oxidação e envelhecimento do material. A construção inadequada das juntas entre camadas pode também ser um factor de aceleramento no processo do fendilhamento.

- **Pele de Crocodilo ou Fendilhamento por Fadiga**

A pele de crocodilo trata-se de um conjunto de fendas ramificadas entre si que formam uma malha com aspecto semelhante à "pele de crocodilo". Pode ter origem na fadiga das camadas betuminosas sendo que esta é um indicador da fraca capacidade estrutural do pavimento, muitas vezes, resultante da saturação das camadas de base e de sub-base. Geralmente localizam-se paralelamente ao percurso dos rodados, podendo ocasionalmente acontecer transversalmente.

- **Fendilhamento em Bloco**

A retracção das camadas betuminosas e a variação diária de temperatura provocam um ciclo de tensões no pavimento que podem dar origem ao fendilhamento em bloco (Figura IV.5). Este tipo de fendilhamento divide o pavimento em blocos aproximadamente rectangulares e abrange uma grande parte do mesmo, sendo que por vezes ocorre em áreas não transitáveis.

Figura IV.5 – Fendilhamento em bloco (Pavement).

- **Fendas Parabólicas**

As fendas parabólicas aparecem na zona de passagem dos pneus, com incidência nas zonas de travagem e viragem, com o eixo da parábola orientado no sentido longitudinal e as extremidades a apontar para fora no sentido do movimento. Em geral, resultam de problemas relacionados com a ligação da camada de desgaste e as camadas betuminosas inferiores, eventualmente com origem numa compactação deficiente das camadas betuminosas ou da camada de base, ou por fluência plástica do revestimento na ocorrência de temperaturas elevadas.

- **Fendilhamento por Reflexão – "*Reflection Cracking*"**

As fendas por reflexão ocorrem directamente sob fendas subjacentes reflectindo o padrão destas. O seu aparecimento pode ser sinónimo de que a camada de sobreposição não terá sido convenientemente colocada e as fendas antigas bem reparadas. Esta degradação é típica de pavimentos cuja camada de desgaste em betão betuminoso se encontra assente sobre uma laje de betão de cimento, (como variação do pavimento flexível, geralmente denominada de pavimento semi-flexível). Os pequenos deslocamentos das lajes sob o pavimento podem dar origem a este tipo de degradação.

b. Desagregação da Camada de Desgaste

A desagregação da camada de desgaste num pavimento betuminoso reflecte-se na perda de qualidade superficial causada pela ligação insuficiente dos materiais constituintes da mistura. Quando a mistura betuminosa perde a sua componente mais fina, os agregados grossos ficam mais salientes devido ao aumento da macrotextura do pavimento. À medida que a degradação vai evoluindo dá-se o desprendimento dos agregados grossos, havendo desagregação superficial. Por vezes existe um desprendimento de pequenas placas da camada de desgaste desligadas da camada subjacente ocorrendo aquilo a que se chama "pelada". Os ninhos ou covas são a evolução da degradação até ao seu estado último, podendo ter efeitos severos sobre a circulação. A falta de estabilidade da ligação entre os vários componentes da mistura betuminosa pode ser uma das causas da desagregação, no entanto, deficiências na execução da camada de desgaste ou na qualidade dos materiais também podem estar na sua origem.

c. Deformações

As deformações localizadas são alterações de nível do pavimento, que podem surgir isoladamente em diferentes pontos do mesmo. Na sua origem estão a falta de capacidade de suporte das camadas estruturais do pavimento e/ou da fundação, contaminação das camadas granulares, falta de ligação entre as camadas, misturas betuminosas pouco estáveis e sensíveis às forças tangenciais resultantes do processo de travagem e aceleração das aeronaves.

- **Rodeiras**

As rodeiras são deformações longitudinais que ocorrem na zona de passagem das rodas das aeronaves. Esta degradação é causada por uma deformação permanente nas camadas subjacentes do pavimento e caracteriza-se pela depressão da superfície do pavimento, acompanhada ou não de elevação lateral, com origem na consolidação ou afundamento plástico da estrutura. A ocorrência de rodeiras por consolidação, devido a uma compactação suplementar das camadas de base do pavimento e/ou devido à acção do tráfego, não provocam elevação lateral do trilho. As rodeiras causadas por afundamento plástico têm origem na fluência plástica de uma ou mais camadas do pavimento ou do seu leito. Devido a temperaturas altas ocorre uma elevação lateral, no betuminoso, ocasionada pela distorção e movimentação de partículas. Na origem deste problema pode estar uma má mistura betuminosa com baixa estabilidade, bem como a rotura de uma ou mais camadas de pavimento devido ao tráfego.

- **Ondulação**

A ondulação é uma deformação transversal que se repete com uma determinada frequência ao longo do pavimento. A deformação plástica excessiva, em camadas de betão betuminoso, permite que haja arrastamento da mistura por acção do tráfego. Uma má distribuição do ligante em camadas de desgaste, também pode estar na origem desta patologia, ou mesmo, a deformação da fundação que origina uma ondulação suave no pavimento.

- **Abatimento**

O abatimento apresenta-se ao longo do pavimento, longitudinalmente ou transversalmente e caracteriza-se por uma determinada extensão do pavimento apresentar um nível mais baixo do que a superfície em seu redor. Tratando-se de abatimento longitudinal, pode incidir sobre a berma, ou sobre o eixo, devido a uma redução da capacidade de suporte das camadas granulares e do solo de fundação por entrada de água nesta parte do pavimento. Deficiências construtivas, como uma má compactação do terreno de fundação ou do material de aterro também podem estar na sua origem.

- **Expansão**

A expansão do solo consiste numa protuberância que surge à superfície do pavimento. Pode ocorrer sobre uma pequena área ou sob a forma de uma onda que surge gradualmente. Ambos os tipos de expansão podem ser acompanhados de fendilhamento, sendo que na maioria das vezes este fenómeno é causado pelos ciclos de congelamento e descongelamento da água presente nos solos.

d. Perda de Resistência à Derrapagem

A perda de resistência à derrapagem pode levar a fenómenos de hidroplanagem colocando em risco a segurança de pessoas e bens. Nos pavimentos flexíveis aeronáuticos, esta propriedade funcional é influenciada pelos factores que se descrevem em seguida.

- **Derrame de Combustível**

O derrame contínuo de combustíveis sobre o pavimento pode provocar o amolecimento do mesmo. Áreas sujeitas a derrames esporádicos não precisam de intervenção uma vez que o pavimento recupera as suas características iniciais.

- **Polimento dos Agregados**

O polimento dos agregados é provocado pela passagem contínua do tráfego aeroportuário em particular das aeronaves. Isto acontece quando o agregado que compõe a mistura betuminosa é demasiado pequeno, de fraca qualidade ou pouco angular não conseguindo proporcionar boa resistência à derrapagem.

- **Exsudação do Betume**

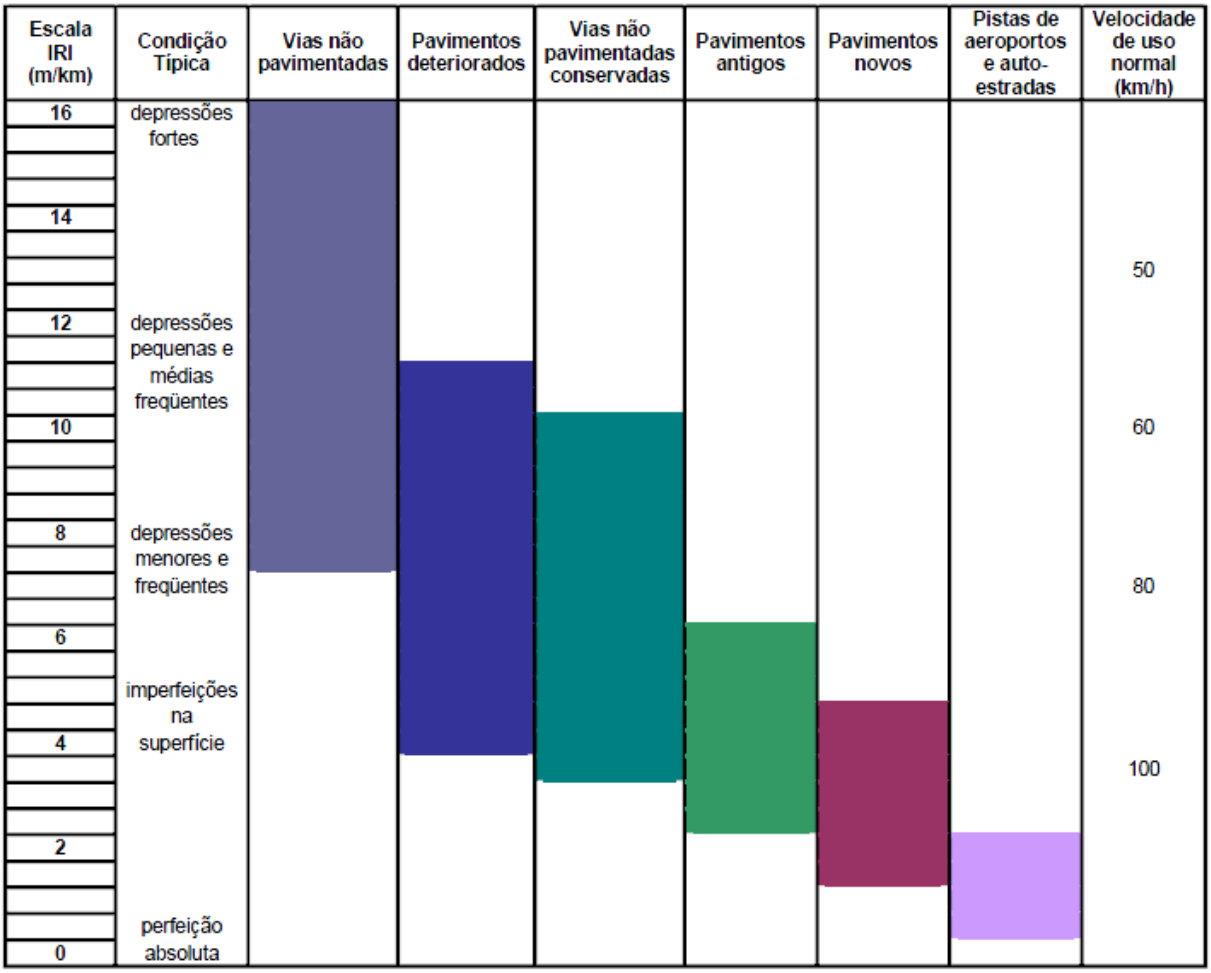
À alteração da composição da camada de desgaste, devido à migração para a superfície de um excesso de ligante, com o consequente envolvimento dos agregados grossos e redução da macrotextura, dá-se o nome de exsudação do betume. Esta degradação tem por base uma deficiente formulação da camada de desgaste que associada a condições severas de tráfego e acções climáticas desfavoráveis leva ao seu aparecimento. O acumular de material proveniente da exsudação do betume pode reduzir drasticamente a qualidade superficial do pavimento no que diz respeito à resistência à derrapagem.

- **Contaminantes**

A acumulação de borracha no pavimento favorece o fenómeno de hidroplanagem, que se traduz numa perda de aderência entre o pneu-pavimento, podendo provocar o despiste das aeronaves.

ANEXO V – ÍNDICE DE IRREGULARIDADE INTERNACIONAL, IRI

Quadro V.1 – Escala do IRI relacionando a origem dos pavimentos, a velocidade de tráfego e condições típicas (Junior, 2008).



ANEXO VI – CURVIÂMETRO

O Curviâmetro (ver Figura VI.1) permite efectuar medições a uma velocidade de 18 km/h, em que são registadas deflexões em intervalos de 5 m. Diariamente podem ser ensaiados de 50 a 120 km de pavimento. Também permite a medição da temperatura ambiente e do pavimento em cada ponto de medida, mediante uma sonda de temperatura e um termómetro de infra-vermelhos respectivamente. Em pavimentos flexíveis, devido ao comportamento das misturas betuminosas as deflexões registadas variam, geralmente, conforme a temperatura a que se encontram (a temperaturas elevadas registam-se deflexões superiores) (COST, 1997).

Figura VI.1 – Curviâmetro (à esquerda) e corrente do Curviâmetro (à direita), (EUROCONSULT., 2004, 24 November).

A carga induzida pelos rodados do eixo traseiro do camião de ensaio permite a obtenção de bacias de deflexão a partir de uma corrente que se apoia no pavimento e que passa no meio dos pneus de cada rodado duplo (ver Figura VI.1 e VI.2). O princípio de medida envolve o cálculo da deflexão medida a partir da aceleração vertical de um ponto da superfície do pavimento [(COST, 1997), (CEBTP, 2007)].

A carga aplicada nos ensaios pode variar de 80 a 130 kN consoante as características do pavimento e do tráfego do local em estudo (COST, 1997), (Fontul, 2004).

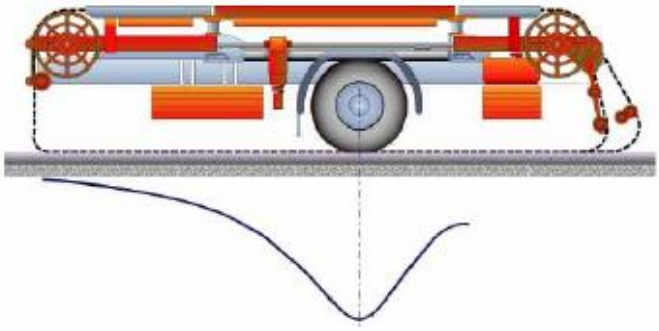


Figura VI.2 – Mecanismo de medida e bacia de deflexão registada.

A corrente de 15 metros tem os sensores de medida (geofones) igualmente distanciados entre si (de 5 em 5 m). A corrente entra em contacto com o pavimento 1 metro à frente do rodado duplo e deixa de estar em contacto 3 metros após passar o eixo do rodado duplo do veículo (COST, 1997). As medidas obtidas visualizam-se em tempo real e armazenam-se em formato digital para serem tratadas estatisticamente ou analisadas individualmente. Os sinais fornecidos pelos geofones permitem dispor da bacia de deflexão definida por 100 pontos, sobre um comprimento de 4 metros (Figura VI.3). Como norma geral o programa apresenta a deflexão no ponto de maior deformação, o raio de curvatura num determinado ponto de ensaio e a largura da deformação, que se define como a distância entre os seus pontos de inflexão.

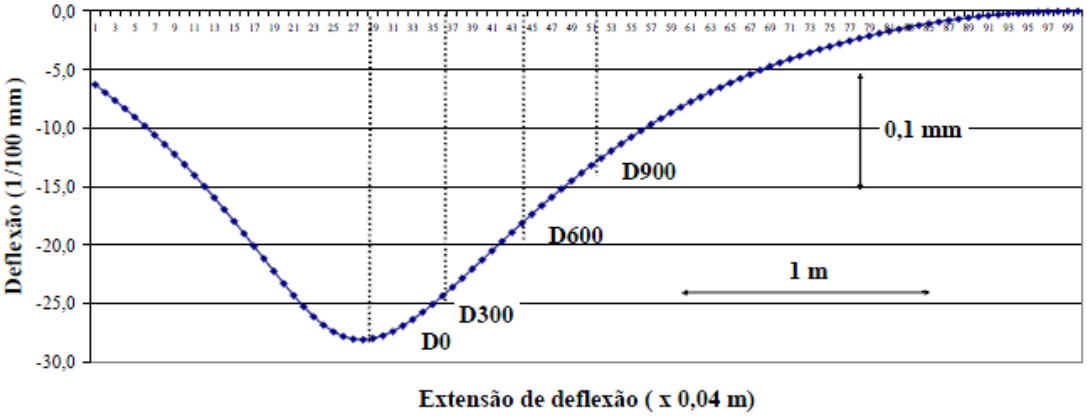


Figura VI.3 – Bacia de Deflexão Tipo.

O Curviâmetro dispõe de dispositivos complementares como um sistema de posicionamento geográfico GPS, e uma câmara digital frontal de alta resolução que recolhe imagens panorâmicas da superfície do pavimento, permitindo associar a cada medida uma imagem (como se observa na Figura VI.4). É importante que os dados dos ensaios sejam georreferenciados e que tenham uma imagem real associada para que, posteriormente ao serem integrados numa base de dados geográfica, se possam produzir mapas com a informação recolhida.

Figura VI.4 – Software de tratamento de resultados individuais a cada 5 metros e análise estatística, (imagem de EUROCONSULT).