



INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO
Universidade Técnica de Lisboa



Desenvolvimento de um Modelo de Avaliação Expedita de Pavimentos Aeronáuticos

Índice Integrado de Avaliação Expedita (IIAE) aplicado ao caso do Aeródromo Municipal de Cascais

João Maia e Silva Rodrigues Luís

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Civil

Júri

Presidente: Professor Doutor António Heleno Domingues Moret Rodrigues

Orientador: Professor Doutor Joaquim Jorge da Costa Paulino Pereira

Vogais: Professor Doutor José Manuel Coelho das Neves

Março de 2010

AGRADECIMENTOS

A realização do presente trabalho só foi possível com a colaboração e apoio de pessoas às quais não quero deixar de manifestar os meus agradecimentos, em particular:

Ao Professor Doutor Joaquim Jorge Paulino Pereira, Professor Associado do Instituto Superior Técnico, pela possibilidade de desenvolver este tema sob sua orientação e toda a disponibilidade demonstrada durante a execução da dissertação.

Ao Arquitecto Carlos Reis, da Arcascais E. M., pela disponibilidade, informações transmitidas acerca das características do aeródromo e simpatia em me receber no Aeródromo Municipal de Cascais sempre que necessário para a realização do trabalho de campo.

Ao Eng. Lúcio Pereira, da Armando Cunha S. A., pela colaboração na disponibilização do equipamento e material necessários para os ensaios à macrotextura do pavimento, sem o qual uma componente do estudo não poderia ter sido aplicada.

Aos meus colegas de curso, que me acompanharam e apoiaram durante o percurso universitário em geral e no desenrolar deste trabalho em particular.

À minha família pelo incansável apoio durante todo o trabalho, bem como aos meus amigos pela palavra de incentivo nas alturas certas, que juntos me possibilitaram as condições óptimas para a realização deste estudo.

RESUMO

Os Sistemas de Gestão de Pavimentos Aeronáuticos, com base nos índices actualmente conhecidos, ainda não se encontram totalmente introduzidos em Portugal e a conjuntura actual torna a sua implementação na maioria dos aeródromos nacionais uma possibilidade remota.

Com o objectivo de agilizar os procedimentos associados à implementação desses sistemas de gestão, para que se continuem a veicular os recursos financeiros para as fases das intervenções de manutenção, é desenvolvida e proposta, nesta dissertação, uma metodologia de abordagem à avaliação de pavimentos aeronáuticos inédita.

De forma a constituir-se como uma alternativa aos reconhecidos índices de avaliação da condição de pavimentos já existentes, o modelo do Índice Integrado de Avaliação Expedita, aqui introduzido, tem como objectivos fundamentais a redução de custos associados a esta fase de levantamento e processamento de informação e a simplificação de procedimentos, que tornem simultaneamente a aplicação do modelo menos onerosa e mais expedita.

Com a crescente valorização, nos últimos anos, das características superficiais dos pavimentos aeronáuticos, integra-se ainda no índice desenvolvido neste trabalho uma componente de avaliação funcional do pavimento, através de ensaios expeditos à macrotextura dos pavimentos (ensaio da Mancha de Areia).

Para além de se introduzirem os conceitos teóricos do novo modelo, é apresentado um caso de estudo prático onde este novo modelo foi aplicado para a calibração e a concretização da sua formulação matemática.

Os resultados obtidos neste caso de estudo, apesar de carecerem de verificação mediante mais aplicações, são satisfatórios e prometedores das potencialidades que esta nova filosofia integrada de avaliação expedita da condição de pavimentos aeronáuticos pode representar para os aeródromos nacionais.

Palavras-chave

Pavimentos Aeronáuticos

Condição de Pavimentos

Textura

Avaliação Expedita

ABSTRACT

Airfield Pavement Management Systems (APMS), based on the presently known indexes, are still not fully implemented in Portugal and today's world economy makes the implementation in the majority of the national aerodromes a remote possibility.

With the goal of speeding up the procedures connected to the implementation of these management systems so that they can continue to convey the necessary financial resources for the stages of maintenance, an unprecedented methodology that tackles the subject of aeronautical surfaces evaluation will be developed and proposed throughout this dissertation.

In order to become an alternative to the recognized evaluation rating indexes already known, the model Prompt Evaluation and Integrated Index (IIAE), here introduced, has as its elementary goals the reduction of costs connected with this stage of survey and data processing, as well as the simplification of procedures, that will simultaneously turn the application of the model less onerous and more prompt.

With the increasing concern, in recent years, for the characteristics of airfield pavements surfaces, another component of functional evaluation of the surface is also combined in the index developed in this work through tests applied to the macrotexture of the surface (Standard Test Method for Measuring Pavement Macrotexture Depth Using a Volumetric Technique).

Besides the introduction of the theoretical concepts of the new model, a particular case study is also presented where this same model was applied with the intention of calibrating and proceeding to the creation of its mathematical formula.

The obtained results in this case study, although revealing a lack of verification by means of more applications, are satisfactory and promising of the potential that this new prompt and integrated evaluation of airfield pavements conditions philosophy can represent for the portuguese aerodromes.

Key - Words

Airfield Pavements

Pavement Condition

Texture

Prompt Evaluation

Índice

1	Introdução	1
1.1	Motivação	1
1.2	Objectivos	2
1.3	Estrutura Geral	3
1.4	Breves considerações sobre a Aeronáutica	4
2	Pavimentos Aeronáuticos	7
2.1	Descrição de um Aeródromo	7
2.2	Caracterização de Pavimentos Aeronáuticos	8
2.2.1	Introdução	8
2.2.2	Tipos de Pavimentos	9
2.2.2.1	Pavimentos Flexíveis	9
2.2.2.2	Pavimentos Rígidos	9
2.2.2.3	Variáveis de Dimensionamento	10
2.2.3	Pavimentos Rodoviários versus Pavimentos Aeronáuticos	11
2.3	Modelos de Avaliação de Pavimentos Aeronáuticos	12
2.3.1	Introdução	12
2.3.2	Capacidade Estrutural	12
2.3.3	Classificação ACN/PCN	13
2.3.4	Avaliação da Condição de um Pavimento	16
2.3.4.1	Índice de Condição do Pavimento (PCI)	16
2.3.4.2	Índice de Classificação da Condição (Condition Rating Index - CRI)	18
2.3.4.3	Forma de cálculo do CRI (Condition Rating Index)	19
2.4	Índices de Avaliação da Textura e Rugosidade Superficial	20
2.4.1	Textura e Rugosidade de Pavimentos Aeronáuticos	20
2.4.2	Índices de Rugosidade Superficial dos Pavimentos	22
2.4.3	Ensaio da Mancha de Areia	26
2.5	Sistemas de Gestão de Pavimentos Aeronáuticos	27
2.6	Síntese	29
3	Modelo Proposto para Avaliação Integrada e Expedita da Condição de um Pavimento	30

3.1	Introdução	30
3.2	Processo de Divisão dos Pavimentos (Grelha D)	31
3.3	Avaliação Subjectiva Directa da Condição do Pavimento (Matrizes S e S')	35
3.4	Avaliação do Índice de Manifestação de Degradação (Matriz A)	38
3.5	Integração da Textura Superficial no Modelo do Índice Integrado de Avaliação Expedita	40
3.6	Metodologia de Cálculo do Índice Integrado de Avaliação Expedita (IIAE)	42
3.6.1	Introdução	42
3.6.2	Cálculo do DMI e IIAE para uma secção	42
3.6.3	Cálculo do IIAE para uma zona	46
3.7	Síntese	47
4	Caso de Estudo – Aeródromo Municipal de Cascais	48
4.1	Introdução	48
4.2	Caracterização do Aeródromo.....	48
4.3	Resenha Histórica	52
4.4	Aplicação do Índice Integrado de Avaliação Expedita (IIAE)	54
4.4.1	Introdução	54
4.4.2	Divisão da Área de Pavimento a Analisar	54
4.4.3	Avaliação Subjectiva Directa da Condição do Pavimento	56
4.4.4	Avaliação do Índice de Manifestação de Fadiga (DMI)	58
4.4.5	Avaliação da Textura do Pavimento	60
4.4.5.1	Introdução	60
4.4.5.2	Ensaio da Mancha de Areia	61
4.4.6	Determinação do IIAE de cada secção e da Placa de Estacionamento Alfa do AMC	62
4.5	Síntese	64
5	Manual de Avaliação da Condição de Pavimentos Aeronáuticos proposto pelo signatário	66
5.1	Introdução	66
5.2	Anomalias em Pavimentos Flexíveis.....	67
5.2.1	Defeitos de Textura	68
5.2.1.1	Desagregação superficial.....	68
5.2.1.2	Exsudação	69

5.2.1.3 Polimento dos Agregados.....	70
5.2.1.4 Erosão de Jacto	71
5.2.2 Deformação da Superfície	72
5.2.2.1 Rodeiras	72
5.2.2.2 Ondulações	73
5.2.2.3 Depressões	74
5.2.2.4 Empolamentos.....	75
5.2.3 Fendilhamento.....	76
5.2.3.1 Fendilhamento Térmica.....	76
5.2.3.2 Fendas de Reflexão.....	77
5.2.3.3 Fendas de Escorregamento Lateral	78
5.2.3.4 Fendas em Juntas e nas Bordas do Pavimento	79
5.2.3.5 Fendas Cruzadas	80
5.2.3.6 Fendas Pele de Crocodilo	81
5.2.4 Remendos e Buracos	83
5.2.4.1 Remendos	83
5.2.4.2 Buracos	84
5.2.5 Agressões Químicas e Mecânicas	85
5.2.5.1 Derrame de Combustíveis, Óleos e outros solventes	85
5.2.5.2 Rasgo ou Depressão de Impacto	86
5.3 Síntese	87
6 Conclusões.....	89
6.1 Considerações Finais	89
6.2 Conclusões Gerais.....	90
6.3 Proposta de Desenvolvimentos Futuros	91
7 Bibliografia.....	93
Anexos.....	97
Anexo I.1 – Grelha D para análise do pavimento do caso de estudo.....	98
Anexo I.2 – Exemplo de Matriz A.....	99
Anexo II – Matrizes S e S' de classificação de pavimentos do caso de estudo	101
Anexo III – Matriz A do levantamento de anomalias do Caso de Estudo.....	103

Anexo IV – Plano Resumido de Ensaios da Mancha de Areia.....	105
Anexo V – Mapa de localização de ensaios da Mancha de Areia.....	106
Anexo VI – Fichas individuais de resultados do ensaio da Mancha de Areia....	108
Anexo VII – Grelha D com resultados do IIAE _i	123
Anexo VIII – Grelhas de classificação com as anomalias relevantes.....	124

Índice de Figuras

Figura 1.1 Voo dos irmãos Wright _____	4
Figura 1.2 Charles Augustus Lindbergh _____	4
Figura 1.3 "Ícaro e Dédalo", por Charles Paul Landon _____	5
Figura 1.4 Passarola de Bartolomeu de Gusmão _____	5
Figura 1.5 O 14-bis de Santos-Dumont a ser testado no campo de Bagatelle, em 1906	6
Figura 1.6 Um dos primeiros hidro-aviões _____	6
Figura 2.1 Variáveis e escala do PCI, extraído de (VELOSO, 2001) _____	18
Figura 2.2 Âmbito das designações de textura em função do comprimento de onda (extraído de (MENEZES, 2008); adaptado de (AIPCR/PIARC, 2003)) _____	21
Figura 2.3 Escala IRI (adaptado de (SAYERS, et al., September 1998)) _____	23
Figura 2.4 Veículo instrumentado para múltiplas análises da superfície de pavimentos, extraída de (WSDOT, 2009) _____	25
Figura 2.5 Grip Tester, extraída de (IRVINE, 2009) _____	25
Figura 2.6 Mu-Meter, extraída de (INTERNATIONAL, 2009) _____	25
Figura 2.7 Típico Ciclo de Vida da Condição de um Pavimento, extraído de (SHAHIN, 2005) _____	28
Figura 3.1 Exemplo de divisão e designação de duas sub-zonas de uma placa de estacionamento de aeronaves _____	32
Figura 3.2 Exemplo de divisão de uma Zona de pavimento (placa de estacionamento em pavimento flexível) em secções numeradas (10 m x 10 m) _____	33
Figura 3.3 Grelha D e Matriz S para o exemplo da Figura 15 _____	36
Figura 3.4 Matriz S e Matriz S' para o exemplo da Figura 15 _____	37
Figura 4.1 Aeródromo de Tires visto do céu, extraída de (ARCASCAIS E. M., 2009) __	49
Figura 4.2 Aeródromo Municipal de Cascais, extraída de (ARCASCAIS E. M., 2009) __	53
Figura 4.3 Grelha D para o Caso de Estudo _____	55
Figura 4.4 Matriz S _____	56
Figura 4.5 Matriz S' _____	57
Figura 4.6 Mapa de ensaios da Mancha de Areia utilizados no modelo do IIAE _____	62
Figura 4.7 Distribuição dos resultados do IIAE _____	64
Figura 5.1 Desagregação superficial (nível 1) _____	69
Figura 5.2 Desagregação superficial (nível 2) _____	69
Figura 5.3 Exsudação extensa (nível 2) _____	70
Figura 5.4 Polimento como uma anomalia entre outras mais gravosas _____	71

Figura 5.5 Polimento de agregados como anomalia evidente, ainda que seja acompanhada de desagregação da superfície numa fase inicial _____	71
Figura 5.6 Rodeiras com filme de água após chuvas, extraída de (U. S. Department of Transportation, 2004) _____	72
Figura 5.7 Rodeira profunda, com mais de 2cm, acompanhada de fendilhamento, extraída de (U. S. Department of Transportation, 2004) _____	73
Figura 5.8 Ondulações significativas da superfície do pavimento, extraída de (U. S. Department of Transportation, 2004) _____	73
Figura 5.9 Depressão com profundidade inferior a 1,5cm, numa secção com outras anomalias importantes _____	74
Figura 5.10 Depressão significativa, numa secção com outra anomalia também evidente (Desagregação da superfície) _____	74
Figura 5.11 Empolamento com mais de 2cm de altura, extraída de (U. S. Department of Transportation, 2004) _____	75
Figura 5.12 Fendas térmicas numa secção com outras anomalias mais gravosas ____	76
Figura 5.13 Fendas térmicas como anomalia preponderante na secção _____	76
Figura 5.14 Fenda de reflexão do fim do pavimento inferior _____	77
Figura 5.15 Fendas de reflexão do pavimento inferior, extraída de (U. S. Department of Transportation, 2004) _____	77
Figura 5.16 Fendas de escorregamento lateral, com forte desagregação, extraída de (U. S. Department of Transportation, 2004) _____	78
Figura 5.17 Junta de pavimento com fenda aberta apesar da existência de anomalias mais gravosas (nível 1) _____	79
Figura 5.18 Fendas e deterioração avançada na junta do pavimento (nível 2) _____	79
Figura 5.19 Fendas cruzadas numa secção com outras anomalias mais gravosas (rodeiras e derrame de óleos) _____	80
Figura 5.20 Fendas cruzadas formando blocos e abertas, permitindo a entrada de água, extraída de (U. S. Department of Transportation, 2004) _____	81
Figura 5.21 Pele de crocodilo existente mas numa área diminuta, com outras anomalias mais gravosas na secção _____	82
Figura 5.22 Pele de crocodilo extensa e claramente condicionante da classificação da secção (nível 2) _____	82
Figura 5.23 Junta do remendo aberta mas sem influência na classificação da secção (nível 1) _____	83
Figura 5.24 Junta do remendo aberta e ligeiro assentamento deste (nível 2) _____	83
Figura 5.25 Buraco com 2cm de profundidade, mas limitado na área, com outras anomalias na secção (nível 1 ou 2) _____	84
Figura 5.26 Buraco com 2cm de profundidade mas de área significativa e desagregação importante (nível 2) _____	84
Figura 5.27 Derrame de pequena quantidade de combustível ou óleo (nível 1) ____	85
Figura 5.28 Derrame significativo de óleos na secção (nível 2) _____	85

Figura 5.29 Rasgo provocado por arrastamento de elemento metálico, pouco significante (nível 1) _____	86
Figura 5.30 Depressão provocada por impacto mecânico, com forte desagregação (nível 2) _____	87

Índice de Tabelas

Tabela 2.1 Variáveis de que depende o desempenho de um pavimento, extraída de (ICAO, 1983)	10
Tabela 2.2 Valores ACN para pavimentos flexíveis, para a aeronave Fokker 100, extraída de (ICAO, 1983)	14
Tabela 2.3 Classificação ACN/PCN segundo o tipo de pavimento	15
Tabela 2.4 Classificação ACN/PCN segundo a resistência do solo de fundação	15
Tabela 2.5 Classificação ACN/PCN segundo a pressão dos pneus	15
Tabela 2.6 Classificação ACN/PCN segundo o método de determinação	16
Tabela 3.1 Códigos de Zona, definidores do tipo de utilização, segundo (VELOSO, 2001)	32
Tabela 3.2 Geometria sugerida para as secções em função da zona	33
Tabela 3.3 Descrição da classificação efectuada no exemplo da Figura 15	34
Tabela 3.4 Numeração e classificação de secções parciais de pavimento	34
Tabela 3.5 Classificação Subjectiva Directa da Condição dos Pavimentos	36
Tabela 3.6 Excerto de um exemplo de Matriz A	38
Tabela 3.7 Critérios de Classificação das Anomalias	39
Tabela 3.8 Designação correspondente à Classificação das Anomalias	39
Tabela 3.9 Enquadramento da macrotextura no modelo do IIAE	41
Tabela 3.10 Exemplo de Determinação das Variáveis "X" e "Y"	43
Tabela 3.11 Matriz B para factor de correcção d_k	45
Tabela 4.1 Características geométricas da Pista do AMC, adaptado de (FONTUL, 2007)	49
Tabela 4.2 Características dos caminhos de circulação do AMC, adaptado de (FONTUL, 2007)	50
Tabela 4.3 Características dos caminhos de circulação poentes do AMC, adaptado de (FONTUL, 2007)	50
Tabela 4.4 Características das placas de estacionamento a nascente do AMC, adaptado de (FONTUL, 2007)	50
Tabela 4.5 Características das placas de estacionamento poentes do AMC, adaptado de (FONTUL, 2007)	50
Tabela 4.6 Características da placa de estacionamento Alfa do AMC, extraída de (NAV, 2009)	55
Tabela 4.7 Resultados da Avaliação Subjectiva Directa da Condição do Pavimento	58
Tabela 4.8 Resultados do Índice de Manifestação de Fadiga	60

Tabela 4.9 Resultados dos ensaios da Mancha de Areia utilizados na determinação do IIAE _____	62
Tabela 4.10 Resultados do IIAE de cada secção _____	63
Tabela 4.11 Resultados do IIAE com integração da macrotextura _____	63
Tabela 5.1 Tipos e codificação das anomalias, adaptado de (U. S. Department of Transportation, 2004) _____	68

LISTA DE ABREVIATURAS E ACRÓNIMOS

ACN – Aircraft Classification Number

AIP – Aeronautical Information Publication

AMC – Aeródromo Municipal de Cascais

ASTM – American Society for Testing and Materials

CBR – California Bearing Ratio

CRI – Condition Rating Index (Índice de Classificação de Pavimentos)

DMI – Distress Manifestation Index (Índice de Manifestação de Fadiga)

EP – Estradas de Portugal, S.A.

FAA – Federal Aviation Administration

FOD – Foreign Object Damage (Danos de Objectos Exteriores)

ICAO – International Civil Aviation Organization

IFI – International Friction Index (Índice de Atrito Internacional)

IIAE – Índice Integrado de Avaliação Expedita

IRI – International Roughness Index (Índice de Irregularidade Internacional)

LCCA – Life Cycle Cost Analysis (Análise ao Custo do Ciclo de Vida)

LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil

NAV – Navegação Aérea Portuguesa

PCI – Pavement Condition Index (Índice de Condição de Pavimento)

PCN – Pavement Condition Index

RCI – Riding Comfort Index

SGPA – Sistemas de Gestão de Pavimento Aeronáuticos

SN – Skid Resistance Number (Resistência à derrapagem)

1 Introdução

1.1 Motivação

Realizada no âmbito do Mestrado Integrado em Engenharia Civil, no ano lectivo 2008/2009, esta dissertação tem como tema o “Desenvolvimento de um Modelo de Avaliação Expedita de Pavimentos Aeronáuticos”. Este tema surge como resultado de uma curiosidade por satisfazer, por parte do autor deste trabalho, sobre os sistemas de avaliação e gestão da manutenção dos pavimentos de infraestruturas aeroportuárias.

Dada a escolha do ramo de especialização ter recaído na Construção, não tendo sido abordado com tanta profundidade os pavimentos aeronáuticos, a oportunidade de realizar esta tese de dissertação nessa área tornou-se única e imperdível.

A oportunidade de poder estudar e aprofundar conhecimentos nesta área dos pavimentos, tão específica como é a dos pavimentos aeronáuticos, conduziu o autor à percepção da necessidade real das administrações dos aeródromos, em especial dos mais pequenos, poderem ter acesso a ferramentas de apoio à decisão, no âmbito da gestão da manutenção, que se constituam como credíveis alternativas aos existentes, mais dispendiosos.

Tendo em consideração a realidade sócio-económica nacional e os requisitos não só normativos, mas de competitividade, é do maior interesse estabelecer princípios e gerir as infraestruturas, nomeadamente os pavimentos aeronáuticos, com o maior empenho, de forma a conciliar a máxima eficácia aos menores custos.

É presentemente indiscutível que um bom planeamento e gestão de pavimentos aumenta a qualidade das operações, garantindo melhores condições de segurança e conforto, ao mesmo tempo que permite uma exploração nessas condições por mais tempo, com menores custos de manutenção e reparação. Assim, conseguem-se cumprir os objectivos de qualquer entidade responsável por estas infraestruturas com maiores proveitos a médio e longo prazo.

Ao mesmo tempo, as regulamentações e recomendações que são produzidas nesta área traduzem uma preocupação crescente muito significativa com as questões abordadas atrás sobre a qualidade funcional dos pavimentos e, em particular, dos aeronáuticos, uma vez que para os rodoviários já existem aplicados mais e melhor divulgados Sistemas de Gestão de Pavimentos. Posto isto, resta salientar que a ICAO tem seguido esta mesma tendência, recomendando a um leque cada vez maior de infraestruturas aeroportuárias a adopção de sistemas de gestão eficazes, prevendo-se que a sua obrigatoriedade esteja para um futuro próximo.

1.2 Objectivos

Com este trabalho pretende-se contribuir de forma modesta mas inovadora, lançando as bases de um novo modelo, no sentido de disponibilizar um método que seja simples, expedito e de custos reduzidos que fique ao alcance de qualquer administração de aeródromos.

Propõem-se estabelecer procedimentos claros para a avaliação da condição de pavimentos aeronáuticos, para o seu processamento e verificação, com a finalidade de enriquecer bases de dados integrantes de sistemas de gestão anteriores ou a implementar de raiz, que sejam uma ajuda à decisão, na definição do planeamento de intervenções de manutenção e reabilitação a médio e longo prazo.

O objectivo é prolongar a vida útil dos pavimentos mediante um planeamento atempado e objectivo, conseguindo conseqüentemente uma maior eficácia funcional e uma capitalização mais eficiente dos investimentos realizados ao longo do tempo. A implementação destes Sistemas de Gestão de Pavimentos pode ainda servir, à semelhança do que já acontece noutros países, para garantias de seguros mais vantajosos para as administrações dos aeródromos.

A optimização de cada solução de pavimentação passa pela sua adequação às solicitações dos trens das aeronaves, fundação e metodologias de projecto, adoptadas caso a caso. Claramente uma solução que tenha que responder a condições de tráfego e fundação, entre outras, mais agressivas, terá *a priori* um custo superior de execução. No entanto, no panorama actual, é importante analisar que a médio e longo prazo poderá trazer benefícios, reduzindo por exemplo, as necessidades de manutenção (COSTA, 2008). É com este intuito que se pretende apresentar um modelo de avaliação da condição de desempenho de um pavimento que ajude a otimizar o resultado das intervenções a realizar.

Com o desenvolvimento de um modelo inédito torna-se indispensável a realização da sua primeira aplicação e assim, dota-se este estudo de um cariz prático para além da componente teórica. O caso de estudo prático é o Aeródromo Municipal de Cascais (Aeródromo de Tires), onde se efectuaram os ensaios e a aplicação do modelo descrito adiante, dentro das restrições de tempo e dimensão deste trabalho.

A principal função de um pavimento aeronáutico é constituir uma superfície livre e desempenada, destinada às operações no solo das aeronaves em condições adequadas de segurança, conforto e economia. Para cumprir essa função, a superfície do pavimento deve possuir determinadas características, nomeadamente funcionais de onde se destacam a aderência, a regularidade geométrica e a capacidade de drenagem das águas superficiais (MENEZES, 2008). Com o objectivo de ser um modelo o mais completo possível tratar-se-á de integrar, ao contrário do que acontecia até

aqui com os modelos mais conhecidos, não só a avaliação estrutural através da manifestação de fadiga à superfície como aliar a vertente funcional, com medidas objectivas de determinação de características da textura.

1.3 Estrutura Geral

Após este capítulo inicial de apresentação dos objectivos e de introdução à temática dos pavimentos aeronáuticos, a estrutura do trabalho será a seguinte:

- No capítulo 2 caracteriza-se um aeródromo e os pavimentos aeronáuticos. Definem-se as áreas específicas de um aeródromo e procede-se à comparação dos pavimentos aeronáuticos com os rodoviários, salientando as diferenças entre estes. A descrição dos pavimentos aeronáuticos incluirá métodos específicos de determinação de capacidade estrutural e ainda modelos de avaliação da sua condição superficial, do ponto de vista estrutural (PCI), integrados (CRI) e meios de quantificação de características de textura.
- No capítulo 3 apresentam-se as bases do novo modelo de avaliação integrada da condição da superfície de pavimentos aeronáuticos. Nele se introduzem as diferentes fases constituintes do modelo, a descrição e enquadramento dos resultados parciais, bem como o método de cálculo e obtenção do índice inovador proposto.
- No capítulo 4 procede-se à apresentação do caso de estudo deste trabalho, o Aeródromo Municipal de Cascais, com a sua resenha histórica e caracterização no panorama actual. De seguida demonstra-se a primeira aplicação do modelo desenvolvido, com enfoque nos procedimentos sugeridos para a sua prossecução, com base nas dificuldades sentidas durante a implementação. São expostos os resultados obtidos em todas as fases de cálculo, discutindo e comparando esses mesmos resultados.
- No capítulo 5 complementam-se os procedimentos para a aplicação do modelo com um guia prático de apoio directo aos avaliadores que o aplicarem. É assim produzido um manual que ajuda à identificação e hierarquização das anomalias detectadas durante as inspecções a um tipo de pavimentos, os flexíveis.
- No capítulo 6 faz-se o fecho deste estudo, com a discussão dos resultados obtidos, e com especial relevância para os pontos fortes e fracos que o modelo introduzido apresenta. Deixam-se ainda as referências para aquilo que são os indispensáveis contributos futuros para um modelo em fase embrionária.

1.4 Breves considerações sobre a Aeronáutica

“A 17 de Dezembro de 1903, nos arredores de Kitty Hawk, Carolina do Norte, um mecânico de bicicletas que dava pelo nome de Orville Wright lançou-se no ar uma distancia de 120 ft” (Figura 1.1) (HORONJEFF, et al., 1993).



Figura 1.1 Voo dos irmãos Wright

“Apertei o meu cinto de segurança, coloquei os óculos sobre os meus olhos, virei-me para o homem que se encontrava na torre e acenei. Imagens estáticas passaram à acção. Um puxão nas cordas, as rodas estão livres. Preparei-me para o impacto chegando-me contra o lado esquerdo do cockpit, vislumbrei a berma da pista, e acelerei. Agora, numa questão de segundos, teremos uma resposta. Acção acarreta confiança e alívio” (LINDBERGH, 1927). Charles Augustus Lindbergh (Figura 1.2) partiu do Condado de Nassau, Estado de Nova Iorque, Estados Unidos da América, em direcção a Paris, França, em 20 de Maio de 1927, tendo aterrado na capital francesa no dia seguinte. O avião usado chamava-se “The Spirit of Saint Louis”, ficando Lindbergh famoso por ter feito o primeiro voo solitário transatlântico sem escalas.



Figura 1.2 Charles Augustus Lindbergh

Não é necessário recuar muitos anos para perceber que as infraestruturas aeroportuárias são uma realidade em constante evolução, tanto na forma como no grau de exigência de qualidade.

Isto apesar do sonho do Homem para procurar voar ter chegado até aos nossos dias através de várias referências, desde logo com as mitológicas lendas de Ícaro (Figura 1.3), passando pelas pinturas murais das sepulturas egípcias, que representam seres humanos dotados de asas (anjos), e que também aparecem nos monumentos Assírios e Persas, até às crónicas que narram como os condenados à morte eram lançados no vazio atados a gansos ou com o corpo coberto de plumas.



Figura 1.3 "Ícaro e Dédalo", por Charles Paul Landon

O primeiro dado histórico conhecido de uma máquina voadora refere-se à pomba mecânica de Arquitas de Tarento, c. 400 a. C. Do ano 1500 datam os estudos sobre a arte de voar do italiano Leonardo da Vinci, que deixou escritos e mais de 400 desenhos sobre o tema.

Em 1709, a primeira aeronave conhecida a efectuar um voo foi baptizada de Passarola (Figura 1.4). A Passarola era um aeróstato, cujas características técnicas não são conhecidas na totalidade, inventada por Bartolomeu de Gusmão, padre e cientista nascido no Brasil.

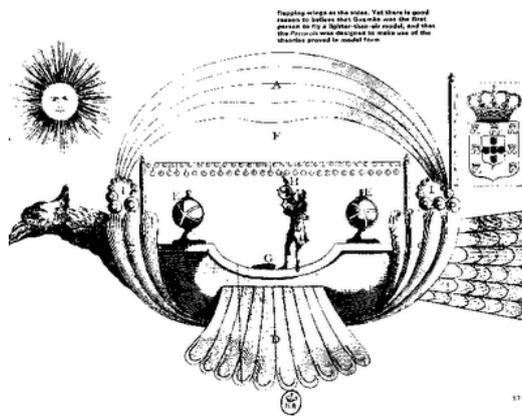


Figura 1.4 Passarola de Bartolomeu de Gusmão

A era moderna da aviação começou, contudo, em 1783, com a prática de balonismo, ou seja, com voos de balões de ar quente, dos quais são exemplo o balão projectado pelos irmãos Montgolfier (Figura 1.5) e, mais tarde, com o dirigível de maior velocidade de Alberto Santos-Dumont (1901).



Figura 1.5 O 14-bis de Santos-Dumont a ser testado no campo de Bagatelle, em 1906

Surgem ainda, em 1911, os primeiros hidro-aviões (Figura 1.6), que utilizam uma superfície aquática como pista. O projectista de aviões norte-americano Glenn Curtiss foi o primeiro a pilotar e a transportar um passageiro, num hidro-avião, em San Diego, nos Estados Unidos da América.

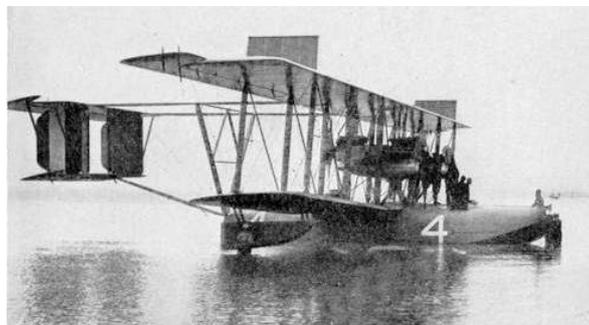


Figura 1.6 Um dos primeiros hidro-aviões

As múltiplas experiências culminaram no voo mais ou menos controverso dos irmãos Wright e, posteriormente, em feitos como a travessia do Atlântico Norte pelo solitário Lindbergh, em 1927. Mas mesmo aí esses primeiros campos de aviação eram simplesmente terrenos planos aos quais se retiravam alguns obstáculos como pedras e arbustos, não medindo mais de 450 m até à I Guerra Mundial e 900 a 1200 m após esta.

Por outro lado, o aumento significativo de tráfego aéreo após a 2ª Grande Guerra levou à construção de aviões maiores, mais pesados e mais rápidos, surgindo nesta altura os aviões a jacto. Daí resultou a necessidade de verdadeiras pistas, mais largas e mais resistentes, com recurso, primeiro ao alcatrão e, mais tarde, aos pavimentos de asfalto.

2 Pavimentos Aeronáuticos

2.1 Descrição de um Aeródromo

Um aeródromo é construído para proporcionar condições de operacionalidade das aeronaves no solo, mediante superfícies que permitam que elas se movimentem e estacionem (ARGUE, 2005). Concorrem para a sua concepção factores tão distintos como factores económicos (estratégia comercial) e interesses militares ou particulares, consoante os objectivos que lhe dão origem.

Incluem-se ainda num aeródromo todas as construções como edifícios de administração, instalações de manutenção das aeronaves (hangares) e equipamentos destinados a dar apoio às operações acima referidas: torre de controlo, sistemas de rádio-ajudas, entre outros.

A Pista, ou pistas, é o elemento central de qualquer aeródromo, constituindo-se na zona pavimentada, rectangular, onde têm lugar as acções longitudinais de aterragem e de descolagem das aeronaves nela operantes. Esta área liga com os caminhos de circulação (taxiways) devendo proporcionar os seguintes aspectos: uma adequada separação física entre aeronaves; a menor interferência nas operações de aterragem, circulação e de descolagem; a menor distância a percorrer nos caminhos de circulação entre a área do terminal e o topo das pistas; adequadas condições para que a saída das aeronaves da pista para os caminhos de circulação possa acontecer tão rapidamente quanto possível, percorrendo nestas o menor trajecto disponível até ao terminal.

À área total ocupada pelas pistas e pelos caminhos de circulação é chamada de “área de manobra”. A pista é designada de “área de aterragem”.

Por outro lado, ao referir a totalidade da área afecta à circulação ou estacionamento de aeronaves, ou seja, a pista, caminhos de circulação (taxiways) e placas de estacionamento, costuma designar-se vulgarmente de “área de movimento”.

Quando se verifica a existência de duas ou mais pistas cruzadas, elas são classificadas, em geral, segundo uma hierarquia onde se estabelece a pista principal e a pista ou pistas secundárias. Esta classificação está associada ao facto de numa situação de utilização normal, a pista principal apresentar melhores condições para a operação dos movimentos das aeronaves, excepto em casos especiais como factores meteorológicos adversos.

Contudo, actualmente, uma segunda pista paralela à primeira é comumente necessária para potenciar a utilização simultânea e assim aumentar a capacidade de um aeroporto ao permitir o escoamento dum volume de tráfego superior. Crescem também as exigências de configuração do aeródromo, pois pretende-se a

independência do funcionamento das áreas de aterragem, recorrendo-se frequentemente a pistas paralelas, dos quais são exemplos os aeroportos de Madrid – Barajas, Japão – Tóquio e ainda do Novo Aeroporto Internacional de Lisboa (em fase de Estudo Prévio).

2.2 Caracterização de Pavimentos Aeronáuticos

2.2.1 Introdução

São abordados os pavimentos aeronáuticos, os tipos existentes, salientando o que os distingue dos outros tipos de pavimentos, nomeadamente, os rodoviários.

Genericamente, um pavimento é o conjunto de uma ou mais camadas de material com determinadas características, devidamente acondicionadas sobre um solo previamente preparado para o efeito (leito do pavimento). Num aeródromo, a exigência de um pavimento prende-se com a necessidade de garantir segurança às operações das aeronaves no solo, fazendo com que a distribuição das cargas, transmitidas pelos pneus, seja de tal forma que não ocorra deformação excessiva ou mesmo a rotura, que poria em causa o rolamento dos pneus sobre a superfície. Para que possa ser utilizado para esse efeito por múltiplas vezes, exige-se que ele degrade e transmita essas cargas, de forma que a capacidade de suporte das camadas estruturais e do solo de fundação não seja excedida.

Para além desta função essencial, uma série de valências necessárias ao bom desempenho ao longo do tempo associam-se a um pavimento aeronáutico, que deve sempre manter critérios de desempenho consoante a categoria da infra-estrutura. O pavimento deve ser rijo, plano e estável e o mais resistente possível aos ataques exteriores, como sejam, as acções climatéricas, acções de sopro/sucção dos reactores e hélices e acções químicas de derrames de óleos, combustíveis e outros compostos.

Paralelamente deve manter-se o mais limpo possível de partículas soltas e poeiras que possam ser prejudiciais ao funcionamento das aeronaves ou à operacionalidade da pista.

Para que um pavimento possa satisfazer estas condições deverá ser bem dimensionado, com recurso a um bom projecto estrutural, definindo, em função das solicitações impostas, as espessuras das camadas e os materiais e processos de construção.

2.2.2 Tipos de Pavimentos

2.2.2.1 Pavimentos Flexíveis

A estrutura de um pavimento flexível é constituída pelas camadas de desgaste e de regularização betuminosas, e pelas camadas de base e sub-base não tratadas por aglutinantes hidráulicos ou pozolânicos.

Segundo o modelo de degradação das cargas em profundidade, a camada superficial, directamente em contacto com as acções exteriores está, sujeita às maiores solicitações. Também fica exposta às agressões dos agentes atmosféricos, devendo por isso possuir características específicas que lhe confirmam boas características mecânicas (resistência e deformabilidade).

A camada de base é a responsável por conferir uma “base” sólida e estável às camadas estruturais betuminosas mais resistentes que lhe ficam sobrejacentes. Degrada e transmite as solicitações à camada de sub-base e ao terreno de fundação. A base pode ser formada por agregados naturais ou britados, devidamente organizados por acção de uma força exterior e compactados (macadame). Se a base for eventualmente tratada com outro ligante, betuminoso ou hidráulico, o pavimento passa a denominar-se, respectivamente, de semi-flexível ou semi-rígido. Uma característica especialmente importante nesta camada é a sua compactação, recorrendo-se por isso normalmente a agregados britados de granulometria extensa (ABGE).

A camada de sub-base tem como principal função fazer a transição da estrutura do pavimento para o terreno de fundação e é constituída por material granular seleccionado, mas de menor valor económico. Desempenha essencialmente funções de drenagem embora também possua características resistentes.

2.2.2.2 Pavimentos Rígidos

Um pavimento rígido caracteriza-se pela laje de betão de cimento construída sobre uma camada de sub-base e, excepcionalmente, directamente sobre o solo de fundação, dependendo das suas características. Mais uma vez, a compactação do solo de fundação e da camada de sub-base tem grande importância no desempenho do pavimento.

A laje de betão é o elemento essencial destes pavimentos, podendo ser ou não armada. Devido à limitação dos processos de construção e aos efeitos diferidos conhecidos do betão, as lajes são separadas por juntas, função da espessura, dos materiais utilizados e das condições ambientais. Para garantir a continuidade entre

lajes, uma vez que as juntas devem ser preenchidas por materiais com propriedades elásticas, utilizam-se varões de aço (passadores) que penetram lajes contíguas, permitindo a transmissão de cargas e impedindo movimentos diferenciais. A função destes varões juntamente com a dos materiais selantes das juntas, impedem a penetração da água e a saída de finos, através destas, da sub-base – efeito conhecido como “pumping” ou “bombagem de finos”.

2.2.2.3 Variáveis de Dimensionamento

O projectista, tendo em consideração os dois tipos de pavimentos utilizados em infraestruturas aeroportuárias, tem de dimensionar o pavimento para o avião de projecto (avião crítico) segundo algumas variáveis. Esquematizam-se as variáveis específicas de um pavimento aeronáutico que se consideram mais relevantes para o dimensionamento do pavimento na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 Variáveis de que depende o desempenho de um pavimento, extraída de (ICAO, 1983)

Variáveis dependentes:	
Das cargas	Carga total do avião Carga por roda Configuração do trem no que respeita às rodas Pressão de contacto dos pneus Número de movimentos Duração dos movimentos Distribuição lateral dos pontos de aplicação Carga estática ou dinâmica
Do meio	Quantidade e distribuição da precipitação Temperatura ambiente Temperatura dos jactos dos aviões Derrame de combustíveis e óleos
Da manutenção	Tipo de acções Disponibilidade e planeamento de acções
Do projecto estrutural	Dimensionamento das diferentes camadas Características dos materiais utilizados

Aumentar a vida útil de um pavimento com acções de manutenção atempadas, segundo um planeamento que seja função das avaliações estruturais e superficiais, permite manter o seu bom desempenho ao longo de mais tempo. Cada vez mais se adoptam, em todo o mundo, sistemas de gestão de pavimentos, inclusivamente nos aeródromos, para se optimizarem as tarefas de manutenção de pavimentos (redução de custos e de prazos de interdição).

2.2.3 Pavimentos Rodoviários versus Pavimentos Aeronáuticos

Sabendo que a constituição dos tipos de pavimentos descritos atrás é idêntica, recai sobre o tipo de utilização a maior diferença entre pavimentos rodoviários e aeronáuticos. Neste aspecto, empiricamente apresentam-se as duas principais características que os distinguem: as estradas suportam cargas repetidas ou ciclos de carga-descarga muito mais frequentes; os aeródromos sofrem as maiores cargas concentradas, consequência do peso total de um avião e do tipo de trem de aterragem (ICAO, 1983).

Qualquer rodovia com pavimento rígido que tenha um significativo tráfego de pesados (maior número de ciclos de repetição de cargas), apresenta quase sempre anomalias derivadas da bombagem de finos (pumping), ao contrário do que geralmente acontece com os pavimentos aeronáuticos, que mostram uma longevidade bem maior.

Porque as aeronaves seguem marcas de circulação e circulam no centro das faixas de pavimento, devido à manobrabilidade, às cargas envolvidas e à segurança exigida, é mais comum a observação de anomalias nos bordos dos pavimentos rodoviários flexíveis do que nos aeroportuários.

Para além destas diferenças, é importante salientar que o tráfego de aeronaves é muito diferente do tráfego rodoviário, não só pela repetição de passagem das cargas, mas também pela intensidade destas. Enquanto numa estrada o eixo de carga é da ordem de grandeza de 100 kN, isto é, 50 kN por par de rodas (duas em cada extremidade do eixo), num avião, o trem de aterragem pode aplicar cargas superiores a 900 kN. Por outro lado, a pressão de enchimento nos pneus também é muito díspar, sendo nos veículos pesados de cerca de 0,7 MPa, e num Boeing B747-400, por exemplo, varia entre os habituais 1,25 MPa e 1,6 MPa (VELOSO, 2001).

Nem só destas solicitações estáticas decorre a degradação dum pavimento. Muitos exemplos há, onde a degradação mais acentuada ocorre nas zonas de viragem, quando a aeronave percorre a marca de circulação, e onde os pneus do trem transmitem elevados esforços tangenciais ao pavimento. A subestimação destes esforços horizontais no pavimento (muito superiores nos pavimentos aeronáuticos) conduz muitas vezes ao aparecimento, nas zonas de viragem ou de travagem, de situações de escorregamento entre as camadas betuminosas e a de base dum pavimento flexível. Para precaver estas anomalias e assumindo grande importância no contexto dos pavimentos aeronáuticos, a geometria dos pavimentos tem especificidades próprias, como seja o não paralelismo entre a linha de circulação e a berma do pavimento nas zonas de viragem. Enquanto a marca de circulação, para a roda de nariz, tem um traçado circular, a berma toma uma geometria própria, semelhante às curvas de transição (clotóides) nas rodovias, definidas na regulamentação da ICAO, permitindo

manter uma distância de segurança e de dissipação das tensões horizontais entre o trem da aeronave (que corta o interior da linha) e a berma (ICAO, 1983).

A especificidade destes pavimentos advém das características também elas específicas do tráfego aéreo. Os pavimentos aeronáuticos devem possuir as devidas características de capacidade de suporte e de rugosidade (macrotextura e microtextura), definidas na regulamentação da ICAO (ICAO, July 2004), de modo a assegurar adequadas condições de conforto e de segurança.

2.3 Modelos de Avaliação de Pavimentos Aeronáuticos

2.3.1 Introdução

Abordam-se, neste ponto, alguns aspectos essenciais para compreender de onde surgem e em que se baseiam os modelos mais conhecidos para avaliar a condição (ou estado de degradação) dos pavimentos. Para este efeito, descrevem-se os índices que definem a capacidade estrutural (ACN/PCN) e as condições de degradação do pavimento, em cada momento, podendo auxiliar na gestão e na extrapolação da degradação no Futuro (PCI e CRI). Numa primeira fase não são considerados os métodos de avaliação da textura superficial dos pavimentos aeronáuticos, que são utilizados para calibrar e enquadrar os resultados obtidos pelo modelo desenvolvido neste estudo, mais adiante.

2.3.2 Capacidade Estrutural

Para o dimensionamento da estrutura (constituição) do pavimento, a carga transmitida pelo trem do avião de projecto quando parado é preponderante. É portanto para esta carga que o pavimento tem de garantir capacidade de suporte, sem deformações excessivas e uma vida útil adequada. Por outro lado, quando se tem um pavimento já construído é importante conhecer a sua capacidade para determinar que aviões o podem continuar a utilizar e com que frequência. A operação de aeronaves sobre determinado pavimento só pode ser realizada com segurança se estiver assegurada a sua capacidade de suporte para as características de carga impostas.

As características das cargas incluem as seguintes variáveis:

- Peso total da aeronave;
- Configuração do trem;
- Pressão de enchimento dos pneus.

Dado que é necessário conhecer exactamente quais as características dos pavimentos dos aeródromos e também das aeronaves, para que neles possam operar, a ICAO exige a publicação dos dados relativos à resistência e tipo de superfície dos pavimentos dos aeródromos existentes. As AIP (Aeronautical Information Publication) são disponibilizadas em território nacional pela NAV Portugal (NAV, 2009) .

Para que a apresentação dessa informação seja internacionalmente reconhecida e facilmente interpretada, a ICAO (Anexo 14) identifica o método ACN/PCN, que se apresenta de seguida, como o único que deve caracterizar a capacidade de suporte dos pavimentos (ICAO, July 2004).

2.3.3 Classificação ACN/PCN

ACN (Aircraft Classification Number) e PCN (Pavement Classification Number) são dois indicadores de classificação de aeronaves e de pavimentos. Todos os pavimentos onde operem aeronaves com um peso total superior a 5700 kg (12 566 lb) devem ser avaliados segundo a classificação ACN/PCN, onde consta (ICAO, July 2004):

- Valor de classificação do pavimento (PCN);
- Tipo de pavimento sob análise;
- Categoria de resistência do terreno de fundação;
- Máximo valor ou categoria de pressão de enchimento dos pneus;
- Método de avaliação.

O PCN publicado indica e permite que uma aeronave com um valor de ACN igual ou inferior ao valor do PCN possa operar no pavimento, com eventuais limitações à pressão de enchimento dos pneus ou à carga total transportada, em casos de aeronaves específicas (ICAO, July 2004).

Por exemplo, para uma aeronave Fokker 100, organizam-se na Tabela 2.2 as características e valores de ACN para pavimentos flexíveis, em função da capacidade resistente dos solos de fundação. Com efeito, para que possa operar sem restrições numa infraestrutura aeroportuária, esta deve possuir uma classificação ACN/PCN dos seus pavimentos igual ou superior à indicada na tabela. Se, por exemplo, o solo de fundação dos pavimentos tiver uma capacidade de suporte muito reduzida (CBR igual a 3), o PCN mínimo para que a aeronave utilize, sem restrições, os pavimentos em causa, é de 32.

Tabela 2.2 Valores ACN para pavimentos flexíveis, para a aeronave Fokker 100, extraída de (ICAO, 1983)

Peso máximo à descolagem (kg)	Carga numa perna do trem principal (%)	Pressão dos pneus (MPa)	ACN para pavimentos flexíveis, conforme classificação CBR*			
			Elevado (15)	Médio (10)	Baixo (6)	Muito baixo (3)
44 680	47,8	0,98	25	27	30	32

* CBR – California Bearing Ratio em percentagem (ICAO, 1983)

Convém salientar que não se trata de um método de dimensionamento de pavimentos, para o qual existem diversos métodos consoante o País, mas antes de avaliação de pavimentos e de compatibilidade entre estes e as aeronaves, partindo exactamente destas, e dando ênfase à avaliação da carga e de como determinar essa carga e o efeito relativo sobre o pavimento.

Segundo o Anexo 14, ACN é o número que expressa o efeito relativo de uma aeronave sobre um pavimento, rígido ou flexível, fundado num solo com uma determinada capacidade de resistência; e PCN é o número que traduz a capacidade de resistência desse pavimento sob uma utilização sem restrições (ICAO, 1983). Ambos os valores são função do efeito de carga de uma roda única característica (rodado de cálculo ou de dimensionamento). Uma determinada aeronave terá um diferente ACN consoante o tipo de pavimento onde vai operar (rígido ou flexível) e a capacidade resistente relativa do solo de fundação e do pavimento.

O conceito da carga de uma roda única é adoptado para determinar o ACN, de modo que a interacção entre o trem de aterragem e o pavimento possa ser avaliado sem depender da sua espessura. A relação entre a espessura do pavimento necessária para a aeronave e a que seria necessária para a tal roda única característica, com uma carga de 500 kg e com uma pressão de enchimento de 1,25 MPa define o ACN (HORONJEFF, et al., 1993).

Apesar de recomendado, este método não é obrigatório, podendo as administrações dos aeródromos optar por utilizar outro método para determinar a capacidade de carga dos seus pavimentos. Nesse caso, terá de apurar o ACN do avião crítico para o pavimento, através da experiência, e traduzi-lo para o correspondente valor de PCN, a publicar na AIP (ICAO, 1983).

Uma das principais vantagens deste método é a sua independência em relação à técnica usada para avaliar a capacidade de suporte do pavimento, porque relaciona directamente o impacto da aeronave e a capacidade de resistência do solo de fundação (HORONJEFF, et al., 1993).

Para a determinação do ACN são consideradas apenas as cargas estáticas impostas pelas aeronaves, não havendo lugar para penalizações decorrentes de efeitos

dinâmicos, ou seja, como se disse atrás, a situação de referência (mais penalizante para os pavimentos) é a composta pela aeronave imobilizada, devidamente carregada.

Resumidamente, a determinação do ACN de uma aeronave é um processo que requer informação detalhada das suas características operacionais, como o máximo avanço do centro de gravidade, o peso máximo, o espaçamento das rodas e a pressão dos pneus, entre outros. O ACN das aeronaves é geralmente, por estas razões, disponibilizado pelo seu fabricante (U. S. Department of Transportation, 2006).

Por fim, a apresentação da classificação ACN/PCN dum pavimento inclui, condensadamente, informação relativa aos factores apresentados, por essa mesma ordem, recorrendo aos códigos apresentados nas tabelas (Tabela 2.3, Tabela 2.4, Tabela 2.5 e Tabela 2.6):

Tabela 2.3 Classificação ACN/PCN segundo o tipo de pavimento

Tipo de pavimento para classificação ACN/PCN	Código
Pavimento Rígido	R
Pavimento Flexível	F

Tabela 2.4 Classificação ACN/PCN segundo a resistência do solo de fundação

Capacidade de resistência do solo de fundação	Código	Caracterizada por:	
		Pavimentos Rígidos	Pavimentos Flexíveis
Alta	A	$K^*=150\text{MN/m}^3$, $K>120\text{MN/m}^3$	CBR=15, CBR>13
Média	B	$K=80\text{MN/m}^3$, $60<K\leq 120\text{MN/m}^3$	CBR=10, $8<\text{CBR}\leq 13$
Baixa	C	$K=40\text{MN/m}^3$, $25<K\leq 60\text{MN/m}^3$	CBR=6, $4<\text{CBR}\leq 8$
Muito Baixa	D	$K=20\text{MN/m}^3$, $K\leq 25\text{MN/m}^3$	CBR=3, CBR≤4

* K – módulo de reacção do solo de fundação, segundo o método Westergaard (ICAO, 1983) (U. S. Department of Transportation, 1996)

Tabela 2.5 Classificação ACN/PCN segundo a pressão dos pneus

Categoria de pressão de enchimento	Pressão máxima dos pneus	Código
Alta	Ilimitada	W
Média	1,50MPa	X
Baixa	1,00MPa	Y
Muito Baixa	0,50MPa	Z

Tabela 2.6 Classificação ACN/PCN segundo o método de determinação

Método de Avaliação	Código	Descrição
Técnica	T	Realizado mediante um estudo específico das características do pavimento e aplicando tecnologia na avaliação do comportamento do mesmo
Empírica	U	Realizado com base na experiência adquirida do tipo de aeronave que é regularmente utilizada e satisfatoriamente suportada pelo pavimento

Por exemplo, através desta classificação, a pista principal do Aeroporto Francisco Sá Carneiro, no Porto, é classificada como PCN 80/F/C/W/T (NAV, 2009). Significa que nele podem operar aeronaves com classificação ACN igual ou inferior a 80, sem restrições, bem como indica que o pavimento é asfáltico (F), que a capacidade resistente dos solos de fundação é baixa (C), que não está limitada superiormente a pressão de enchimento dos pneus das aeronaves que nele operam (W) e que esta classificação foi obtida através de um estudo específico das características do pavimento (T).

Depois de desenvolvido um método de caracterização da capacidade estrutural de um pavimento, começou-se nos Estados Unidos a pensar numa forma de avaliar a sua condição ao longo da vida útil. É assim que surgem os índices de condição de deterioração de um pavimento.

2.3.4 Avaliação da Condição de um Pavimento

2.3.4.1 Índice de Condição do Pavimento (PCI)

Paralelamente com o método de determinação da capacidade de carga ACN/PCN, surgiu um índice de avaliação da condição de um pavimento, denominado de PCI (Pavement Condition Index) (U. S. Department of Transportation, 2006).

O PCI é uma classificação numérica da condição da superfície dum pavimento, e uma medida da performance funcional com implicações na performance estrutural (U. S. Department of Transportation, 1996). É uma avaliação baseada numa medida objectiva do tipo, da severidade e da extensão da anomalia observada num pavimento através de indicadores superficiais (HORONJEFF, et al., 1993).

Estes índices, dos quais o PCI é dos mais utilizados, têm como função evitar a ocorrência de anomalias graves nos pavimentos e priorizar as zonas que devem ser intervencionadas com maior urgência. Uma única avaliação permite apenas estabelecer um panorama da condição superficial do pavimento, num determinado

momento, o que ajuda ao processo de decisão sobre manutenções, a realizar num futuro próximo. Já uma estratégia de levantamentos planeados e periódicos, permite seleccionar formas de tratamentos preventivos. A recolha de dados sobre a evolução do estado de degradação dos pavimentos permite antecipar o seu comportamento futuro, auxiliando as administrações dos aeródromos a planear, a médio prazo, as intervenções necessárias em função da degradação expectável.

É devido a estas potencialidades que estes índices estão estreitamente ligados aos Sistemas de Gestão de Pavimentos (SGP). As administrações dos aeródromos, conscientes de que a responsabilidade última é sua em situações de acidentes (por exemplo, quando uma aeronave não se consegue imobilizar antes do final da pista devido às más condições do pavimento), tendem a encontrar nos ditos SGP, a garantia de qualidade e segurança dos pavimentos aeronáuticos, em qualquer momento (VELOSO, 2001).

Salienta-se que o PCI não mede a capacidade resistente dos pavimentos, nem avalia directamente as condições da textura superficial e deixa de parte a análise às condições de atrito realmente existentes.

O cálculo do Índice de Condição do Pavimento (PCI), baseia-se na base de dados recolhidos ao longo do tempo e permite o planeamento e o desenvolvimento de projectos de manutenção e de reabilitação de pavimentos, de forma atempada. É hábito estar integrado num sistema de gestão completamente informatizado, muito mais vasto. Contudo, é sempre um instrumento de decisão importante, com vista à determinação dos custos de manutenção e alternativas de reparação de pavimentos aeronáuticos (VELOSO, 2001).

Os procedimentos estabelecidos para o cálculo do PCI em pavimentos aeronáuticos podem-se encontrar nas normas americanas ASTM (ASTM D5340-98, 1998). Encontram-se ainda recomendações para a implementação deste índice nas circulares da FAA (U. S. Department of Transportation, 2006) e (U. S. Department of Transportation, 2007).

Os valores de PCI variam entre 100, para um pavimento sem defeitos visíveis, a 0 para um pavimento sem nenhuma vida útil remanescente, numa escala que se pode apresentar através da Figura 2.1 (U. S. Department of Transportation, 1996).

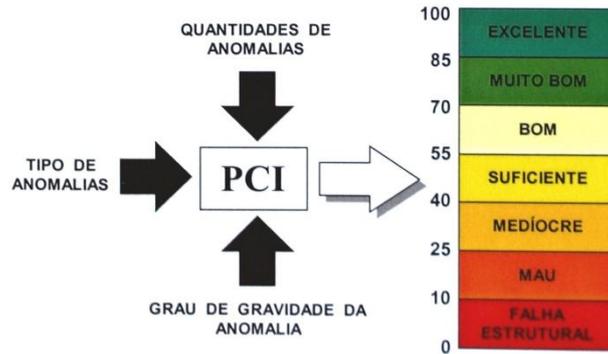


Figura 2.1 Variáveis e escala do PCI, extraído de (VELOSO, 2001)

2.3.4.2 Índice de Classificação da Condição (Condition Rating Index - CRI)

O PCI não é o único índice de condição de pavimentos aplicado. Têm sido desenvolvidos outros mais recentemente, em países como o Canadá, onde já se aplica, especialmente em pavimentos aeronáuticos, o CRI (Condition Rating Index).

Este índice surge da necessidade de um modelo único de avaliação da deterioração de um pavimento que explicitamente permita a previsão do seu comportamento futuro. Integra também as variáveis de deterioração e de priorização das intervenções num pavimento. Foi desenvolvido especialmente para a 1 Canadian Air Division (1 CAD) (SHAH, et al., 2004).

Para além da degradação superficial (condição superficial), as referidas variáveis de deterioração de um pavimento incluem factores como a rugosidade, a resistência à derrapagem e ainda os Danos de Objectos Exteriores (Foreign Object Damage - FOD) que são devidos unicamente à deterioração do pavimento.

À semelhança do anterior, o modelo de previsão de comportamento para os tipos de pavimentos, baseia-se nos processos estocásticos de Markov Chains para as transições de estado.

Por outro lado, ao integrar a hierarquização (prioridade de intervenção em determinada secção), fá-lo podendo não só distinguir duas zonas de importância distintas dentro de uma mesma infraestrutura aeroportuária, como também pode comparar a importância estratégica relativa entre aeródromos.

Dado que o objectivo último é o auxílio à decisão, enquanto instrumento indispensável à implementação de um Sistema de Gestão de Pavimentos, a optimização da escolha do tipo de intervenção, entre os vários possíveis, baseia-se na Análise do Custo do

Ciclo de Vida (LCCA – Life Cycle Cost Analysis), que está dependente dos benefícios decorrentes e das eventuais restrições de orçamento (SHAH, et al., 2004).

O que diferencia este modelo dos outros modelos de avaliação da condição dos pavimentos e, em particular do mais utilizado, o Pavement Condition Index (PCI), é o facto do PCI apenas considerar o índice de manifestação de fadiga (Distress Manifestation Index - DMI), enquanto o CRI inclui não só esta como outras variáveis importantes.

Essas variáveis estão relacionadas com a avaliação do desvio da superfície do pavimento em relação a uma superfície perfeitamente plana, medida longitudinalmente (Riding Comfort Index – RCI); a resistência à derrapagem dos pneus sobre o pavimento quando estes são impedidos de rodar (Skid Resistance - SN); e a avaliação do potencial do pavimento enquanto origem de qualquer partícula que possa infligir danos às aeronaves (Foreign Object Damage - FOD_p).

Uma vez seleccionadas as variáveis do modelo, ficam reunidas as condições para apresentar a forma final de cálculo do CRI.

2.3.4.3 Forma de cálculo do CRI (Condition Rating Index)

O intervalo do CRI varia entre 1 e 100, onde 100 corresponde a um pavimento em excelente estado e 1 corresponde ao estado de ruína, tal como acontece na escala de classificação do PCI. Para obter o valor do CRI é necessário, contudo, atribuir pesos relativos a cada uma das variáveis em jogo (w_i) (SHAH, et al., 2004). Neste momento, os pesos conhecidos resultam, não de um extenso trabalho de campo para calibração, mas da experiência de vários especialistas no assunto, inquiridos sobre tal.

Numa escala de 0 a 10, cada uma das variáveis é convertida num valor, com base nas respostas obtidas dos especialistas, respectivamente, DMI 9, FOD_p 3, SN 6 e RCI 4. O valor menor atribuído a FOD_p prende-se com o facto de alguns especialistas acreditarem que se trata de um efeito que pode ser analisado individualmente, não devendo entrar no cálculo de um índice de condição. O somatório destes valores dá origem ao factor de normalização, designado de W , na equação do CRI [1].

$$CRI_i = \left[\frac{w_a(DMI_{max} - DMI_i)}{\alpha} + w_b(100 - FOD_{pi}) + w_c(SN_i) + w_d \times 10(RCI_i) \right] / W \quad [1]$$

Nesta equação, $DMI_{max} = 208$ para pavimentos flexíveis e $DMI_{max} = 196$ para pavimentos rígidos. Este termo é dividido por α para coerência de escalas com as outras variáveis [2].

$$\alpha = DMI_{max} / 100 \quad [2]$$

Na equação [1], FOD_{pi} representa o potencial de danos de objecto exterior devido à deterioração do pavimento numa secção específica (i), variando de 1 a 100; SN_i representa a resistência superficial à derrapagem numa secção específica (i), variando de 1 a 100; e RCI_i representa o índice de conforto de circulação, na secção i que varia entre 1 a 10. As secções i podem ser tantas quantas se queiram (1 a n), conforme o método de divisão do pavimento adoptado.

Uma desvantagem, que por vezes é indicada a este índice relaciona-se com o facto de poder esconder alguns estados críticos de degradação de determinado elemento, por outro lado a vantagem principal deste tipo de índices compostos é fornecer informação sobre o panorama geral do estado dos pavimentos da infra-estrutura. Para evitar o fenómeno de encobrimento de informação relativa a estados críticos numa variável, é imprescindível estabelecer procedimentos que definam claramente quais os limites que cada variável tem. Quando ultrapassados individualmente, exigem a análise específica dos procedimentos de manutenção e de reabilitação a aplicar.

2.4 Índices de Avaliação da Textura e Rugosidade Superficial

2.4.1 Textura e Rugosidade de Pavimentos Aeronáuticos

A textura da camada de desgaste de um pavimento desempenha um papel determinante na sua qualidade funcional e tem influência directa sobre a segurança das operações, no custo de operação e manutenção dos veículos, no conforto e ambiente, sendo da maior importância adoptar métodos fiáveis de avaliação desta característica (AIPCR/PIARC, 2003).

Para o domínio dos pavimentos, a designação de comprimento de onda da textura designa os comprimentos de onda das irregularidades ou ondulações de um perfil da camada de desgaste (MENEZES, 2008). Apresentam-se na Figura 2.2 as divisões feitas para esses comprimentos de onda.

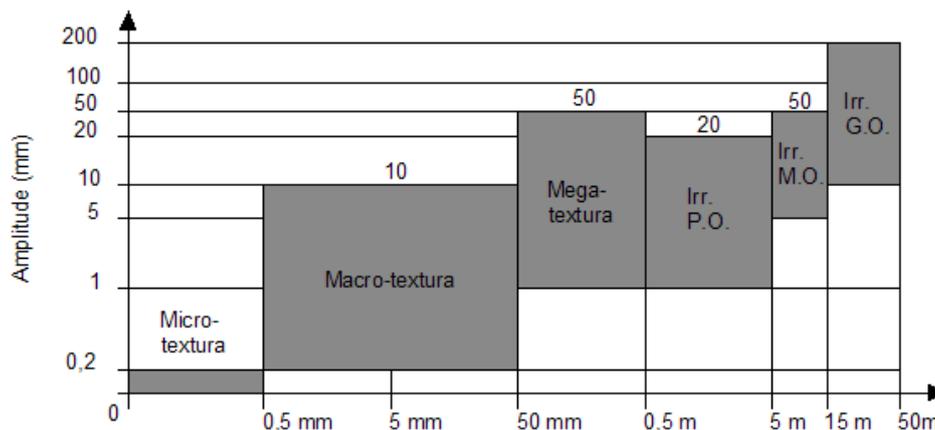


Figura 2.2 Âmbito das designações de textura em função do comprimento de onda (extraído de (MENEZES, 2008); adaptado de (AIPCR/PIARC, 2003))

A microtextura corresponde ao intervalo de comprimentos de onda entre 1 μm e 0,5 mm. Pode ser avaliada indirectamente a partir da medição do coeficiente de atrito, nomeadamente, recorrendo ao ensaio do Pêndulo Britânico (EN 13036-4). A microtextura é função das propriedades das partículas dos agregados, dependendo se estes têm a sua superfície polida devido aos efeitos do tráfego, climatéricos e mesmo da sua mineralogia.

A macrotextura tem como intervalo de comprimentos de onda, de 0,5 mm a 50 mm. Esta escala de medição pode ser efectuada recorrendo aos métodos volumétricos, dos quais o ensaio da mancha de areia é o mais vulgar (EN 13036-1, 2001), ou por um método perfilométrico, sem contacto com as superfícies devido às suas propriedades ópticas (Equipamento laser – Norma ISO 13473-1). Ao contrário da micro, a macrotextura não depende da condição da superfície dos agregados, mas antes da quantificação do relevo dos agregados no pavimento. A macrotextura contribui para a componente de histereses do atrito, potenciando propriedades de drenagem das águas do pavimento e favorecendo o contacto do pneu com a superfície, reduzindo os riscos de hidroplanagem (MENEZES, 2008).

A megatextura, ao corresponder a um domínio de comprimentos de onda entre 50 mm e 500 mm, é o resultado de deformações e de degradações localizadas da superfície do pavimento e, portanto, não é avaliada por ser uma característica da textura do pavimento, mas segundo os índices de degradação e de fadiga.

O âmbito de comprimentos de onda da megatextura e das irregularidades (pequeno, médio e grande comprimento de onda) são os geralmente aferidos com os índices de rugosidade de pavimentos. A megatextura compreende o intervalo de comprimentos de onda de 50 mm a 0,5 m, as irregularidades de pequeno comprimento de onda (P. O.) de 0,5 m a 5 m, as irregularidades de médio comprimento de onda (M. O.) de 5 m a 15 m e as irregularidades de grande comprimento de onda no intervalo de 15 m a 50 m.

2.4.2 Índices de Rugosidade Superficial dos Pavimentos

Os índices mais comuns de avaliação da rugosidade superficial, cuja aplicação a pavimentos aeronáuticos está regulamentada pela ICAO (ICAO, 1994), baseiam-se no levantamento de determinados perfis da estrada e/ou pista ao longo de uma linha imaginária, obtendo uma superfície bidimensional. Estes perfis são constituídos por uma série de números representativos de uma altura, ou seja, de uma distância a um nível de referência. Geralmente, são elaborados recorrendo a duas passagens por faixa, uma em cada alinhamento de rodados, no caso de rodovias.

A dificuldade passa por transpor esta enorme quantidade de dados para um índice de referência que seja representativo da rugosidade, que é entendida como as variações da superfície da estrada que originam vibrações nos veículos circulantes, numa dada extensão desta (AWASTHI, et al., 2003).

Destes quantificadores da rugosidade de um pavimento, o IRI é sem dúvida o mais utilizado e internacionalmente aceite. Desenvolvido pelo World Bank na década de 1980, foi dos primeiros a responder à necessidade de caracterizar o perfil longitudinal das estradas ao longo dos alinhamentos dos rodados (SAYERS, et al., September 1998).

Objectivamente, é calculado a partir de um único perfil longitudinal, isto é, utilizando apenas uma passagem do veículo instrumentado. Primeiramente, o perfil obtido é normalizado segundo a inclinação média corrigida (Average Rectified Slope – ARS), que é um filtro (cálculo realizado sobre uma série de valores numéricos, processado por computador, com o objectivo de remover os erros sistemáticos evidenciando as irregularidades que passariam imperceptíveis nos perfis originais devido aos efeitos de condensação e de ondulações muito longas) do movimento acumulado de uma suspensão de um veículo comum. Posteriormente, ele é dividido pela extensão dos trechos em análise, resultando no avaliador numérico do IRI, com unidades usuais de m/km ou mm/m (Figura 2.3).

Normalmente, se duas passagens na mesma faixa de trânsito são disponibilizadas, o índice toma o nome de HRI (Half car Roughness Index) procedendo-se à análise da média ponto-por-ponto.

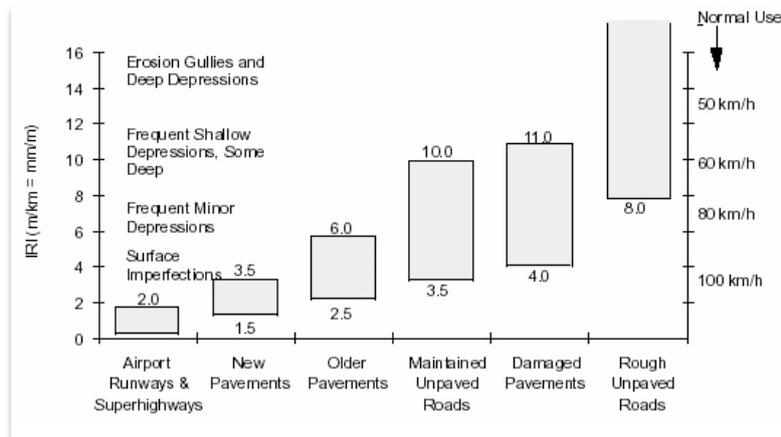


Figura 2.3 Escala IRI (adaptado de (SAYERS, et al., September 1998))

A regularidade dum pavimento tem múltiplos aspectos a considerar, tais como as diferentes formas de calcular a rugosidade, e a percepção que o corpo humano dele tem (SHAHIN, 2005). Este último factor ganha especial importância no âmbito dos pavimentos aeroportuários e em especial das pistas, pois têm sido repetidamente verificadas discrepâncias entre os resultados dos ensaios tradicionais feitos à rugosidade e o desconforto, ou nível de conforto, registado pelos pilotos e pelos passageiros das aeronaves (U. S. Department of Transportation, 2006). Em primeira instância, este aspecto está relacionado com as velocidades a que são realizados os levantamentos dos perfis e as velocidades das aeronaves.

Torna-se importante esclarecer o que se entende então por percepção humana da rugosidade de um pavimento. Basicamente, o julgamento feito pelo utilizador de uma estrada (ou passageiro de uma aeronave), ao nível de rugosidade da mesma, depende do desconforto experimentado devido às vibrações durante o percurso (AWASTHI, et al., 2003).

Estas vibrações provocam, sobre os humanos, diferentes sensações em função de quatro parâmetros principais: magnitude; frequência; duração e direcção. A magnitude é medida em termos da aceleração de oscilação das partículas – neste caso do corpo humano – e expressa no valor médio quadrático. Cada parte do corpo humano tem uma frequência de vibração própria e é mais sensível a determinado intervalo de frequências, em especial para vibrações verticais da ordem dos 5 Hz, devido a ressonância na cavidade abdominal. Como é natural, a percepção de desconforto aumenta com o tempo de exposição a determinada vibração e esta deve ser avaliada segundo os três eixos ortogonais.

Várias destas razões, tais como a importância da frequência e da direcção da vibração, levaram a que alguns estudos apontem no sentido de que os índices de rugosidade utilizados comumente não se relacionem com os parâmetros que indicam o nível de conforto humano (AWASTHI, et al., May, 2001).

Neste trabalho, contudo, mais do que aprofundar o conceito do conforto humano parece importante realçar a importância de uma avaliação objectiva do estado de um pavimento e de estabelecer critérios de prioridade de intervenções.

Num estudo para o Departamento de Transportes do Canadá foi desenvolvido um índice de deterioração que integra não só a análise ao estado de degradação, como a maioria dos Sistemas de Gestão de Pavimentos Aeroportuários hoje em dia o faz. Foi criado assim o CRI – Condition Rating Index – como um auxiliador para os modelos cada vez mais complexos de avaliação da performance de pavimentos deste género (SHAH, et al., 2004). Este índice de condição já foi abordado anteriormente extraindo-se como relevante a integração das componentes estruturais e funcionais da avaliação do pavimento.

Ao integrar, num único modelo, um índice de manifestação de fadiga do pavimento, um índice de potencial de danos de objectos exteriores, uma avaliação do atrito superficial e um avaliador da regularidade (RCI – Riding Comfort Index), torna-se mais eficiente e útil para o planeamento e priorização das intervenções de manutenção e reabilitação.

A caracterização da macrotextura e microtextura da superfície de pavimentos pode ser obtida através de vários tipos de equipamentos com características distintas, como foi visto. Em 1996, um trabalho conjunto da PIARC (Permanent International Association of Road Congress, actualmente World Road Association) e da ASTM (American Society for Testing and Materials) resultou numa harmonização num único índice internacional denominado de IFI (International Friction Index) (APS, 2006). O emprego deste ensaio, que não compete aqui descrever pormenorizadamente, está especificado na norma (ASTM E1960-07, 2007).

O IFI representa um método de aferir ambas as componentes da interacção pneu/estrada, ou seja, a resistência à derrapagem (Skid Resistance), o atrito superficial (microtextura) e a profundidade média da textura do pavimento (macrotextura) (YEAMAN, 2005).

Tendo em conta que índices como o IRI, RCI ou IFI necessitam de um veículo instrumentado, por exemplo, com um dispositivo de medição da rugosidade (Roadmeter) (Figura 2.4) e que a avaliação do atrito se faz mediante um ensaio onde o mesmo veículo tem de acoplar um pequeno atrelado, designados de “Grip Tester” (Figura 2.5) e “Mu-Meter” (Figura 2.6), conclui-se que com o objectivo de desenvolver um índice expedito, ensaios também eles mais expeditos são necessários.

Surge desta forma a necessidade de eleger um ensaio expedito e fidedigno que avalie não a irregularidade do pavimento para comprimentos de onda maiores, mas no âmbito da microtextura e de macrotextura. Dentro destes existem dois ensaios óbvios, o do Pêndulo Britânico e o da Mancha de Areia.



Figura 2.4 Veículo instrumentado para múltiplas análises da superfície de pavimentos, extraída de (WSDOT, 2009)



Figura 2.5 Grip Tester, extraída de (IRVINE, 2009)



Figura 2.6 Mu-Meter, extraída de (INTERNATIONAL, 2009)

Sabendo que o ensaio da mancha de areia não fornece uma indicação directa do atrito pneu-pavimento, mas constitui um bom indicador do seu potencial valor (MENEZES, 2008), simultaneamente, dá indicações das características de drenagem e de rugosidade da superfície (ao contrário do Pêndulo Britânico), estando mais relacionado com o nível de degradação, ao nível da perda da camada de betume e da desagregação superficial. Foi este o ensaio escolhido para integrar o modelo proposto neste estudo.

2.4.3 Ensaio da Mancha de Areia

O ensaio da mancha de areia permite caracterizar, de modo simples e por um valor único, a profundidade da textura superficial de um pavimento. Pode-se aplicar a qualquer tipo de pavimentos de betão betuminoso ou betão de cimento. A macrotextura é determinada através dos desvios entre a superfície de um pavimento e uma superfície plana de referência.

Este ensaio é realizado actualmente segundo a norma europeia EN 13036-1 (2001) ou americana (ASTM E965-96, 2006), que são uma versão revista do antigo ensaio que deu o nome de mancha de areia e que recorre, presentemente, à utilização de pequenas esferas de vidro de dimensão normalizada. Anteriormente, era realizado com areia de granulometria bem definida, obtida por passagem em peneiros normalizados seguindo, em solo nacional, o procedimento do LNEC nº52/1/3416.

O material necessário para realizar o ensaio é o seguinte:

- Uma régua, graduada em milímetros, de 500 m;
- Um cilindro com volume interior de 25 cm³;
- Um disco plano de borracha dura, de 63 mm de diâmetro;
- Um recipiente para armazenar a areia;
- Uma escova de pelo macio;
- Protector circular plano, com 50 cm de diâmetro, de forma a proteger do vento (possível recorrer a um pneu de automóvel);
- Quantidade de areia de grãos arredondados de granulometria 0,30 mm a 0,16 mm.

Para cada zona a caracterizar, devem-se efectuar vários ensaios, devendo a superfície do pavimento apresentar as seguintes particularidades:

- Estar seca (nem que para tal seja necessário secar com recurso a uma chama de aquecedor a gás, por exemplo);
- Estar isenta de fendas ou juntas e partículas soltas, devendo ser limpa com a escova, num raio de, pelo menos, 25 cm.

Inicia-se o procedimento com a medição do material granular necessário (25 cm³) que está colocado no cilindro com esse volume Compacta-se com três pancadas laterais, retirando o material sobranete.

Depois de vertido o conteúdo no local a analisar, que foi previamente limpo, espalha-se com o disco, em movimentos circulares, de forma ao material preencher todos os interstícios do pavimento, até não ser possível aumentar o diâmetro de espalhamento.

Da medição de três diferentes diâmetros, com aproximação de 1 mm, é possível extrair o resultado da profundidade média da rugosidade através da fórmula [3].

$$H_s = 4V/\pi D^2 \quad [3]$$

Onde:

H_s – profundidade média da textura superficial (mm);

V – volume de material espalhado (25 cm³);

D – diâmetro médio do círculo obtido com o espalhamento do material (mm).

O resultado do ensaio de uma determinada zona de pavimento deve ser o valor médio de cinco pontos ensaiados.

2.5 Sistemas de Gestão de Pavimentos Aeronáuticos

Uma análise aprofundada do que se investiga e regulamenta em diferentes países, acerca de Sistemas de Gestão de Pavimentos Aeronáuticos (Airfield Pavement Management Systems – APMS), extrapola o âmbito deste trabalho. Contudo, para a apresentação de um modelo que se pretende constituir como um auxílio a esses sistemas standardizados, não se poderá deixar de abordar este assunto.

Para perceber o contributo dos índices apresentados neste estudo, para as empresas gestoras das infraestruturas, é necessário e útil clarificar em que se baseiam os Sistemas de Gestão de Pavimentos (Pavement Management System – PMS). Estes Sistemas de Gestão fornecem a estrutura com a qual se organizam e se executam todas as actividades necessárias para o bom funcionamento da infraestrutura, como sejam as operações de exploração e de manutenção dos pavimentos aeroportuários (CANADA, Transport of, 2009).

Um APMS não tem por função avaliar apenas a condição de fadiga do pavimento no presente, como também inferir sobre o seu futuro desempenho através de um indicador de condição, como os que foram abordados nos pontos anteriores. Ao

extrapolar para o futuro a taxa de deterioração, viabiliza-se uma análise ao custo do ciclo de vida de diferentes alternativas de reparação ou reabilitação. Esta análise ajuda na determinação do momento óptimo para a aplicação da melhor alternativa. A Figura 2.7 mostra como um pavimento geralmente se deteriora com o tempo e o custo relativo de reabilitação em diferentes momentos. Vários estudos concordam que manter um pavimento com uma boa condição de desempenho, em vez de periodicamente reabilitar um pavimento que atinge um nível fraco, diminui os custos de intervenções entre quatro a cinco vezes (U. S. Department of Transportation, 2006).

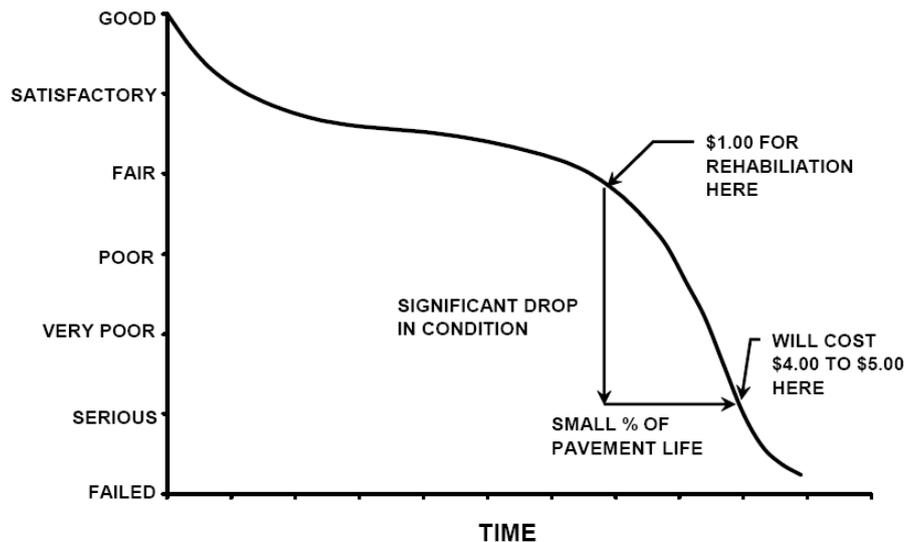


Figura 2.7 Típico Ciclo de Vida da Condição de um Pavimento, extraído de (SHAHIN, 2005)

Um APMS é muitas vezes denominado de sistema integrado, pois deverá conter na sua filosofia quatro conceitos fundamentais enquanto sistema: Integrado; Robusto e coerente; Compatível; e Coeso (Work Together).

Um Sistema de Gestão de Pavimentos Aeronáuticos deve integrar tantas valências quanto possível, com o objectivo de se tornar mais robusto e eficiente. Deve-se manter coerente, compatível e coeso, para que cada procedimento duma actividade do sistema não seja contra produtor no alcançar dos objectivos das outras actividades.

Inicialmente, um APMS tinha como objectivo único a modelação do desempenho de deterioração do pavimento. Actualmente é muito mais do que isso, mesmo que se mantenha como uma fase onde ainda muito se investiga e investe.

Em 1997, a Associação de Transportes do Canadá (Transportation Association of Canada) num documento intitulado "Pavement Management and Design Guide" (Guia de Design e Gestão de Pavimentos) referia-se assim aos APMS: O propósito base de

um sistema de gestão de pavimentos é alcançar a melhor valorização possível para os fundos públicos e, simultaneamente, disponibilizar um transporte em segurança, confortável e económico. É alcançável através da comparação de alternativas de investimento, de um design, construção, manutenção e actividades de avaliação coordenados, fazendo ainda um eficiente uso dos conhecimentos e práticas existentes.

É exactamente para contribuir para esse propósito que se apresenta um modelo totalmente novo e que se espera possa evoluir no sentido de enriquecer os “conhecimentos e as práticas existentes”.

2.6 Síntese

Descreveu-se, sumariamente, um aeródromo, os seus elementos e as características específicas dos seus pavimentos, foram apresentados alguns modelos de avaliação estrutural (ACN/PCN) e da condição de pavimentos aeronáuticos (PCI e CRI), bem como algumas metodologias seguidas actualmente para aferir das suas características funcionais, designadamente de textura.

Esta apresentação resumida, juntamente com o fundamental dos Sistemas de Gestão de Pavimentos Aeronáuticos e ainda da exposição da forma de cálculo de um dos índices de condição mais conhecidos – o Condition Rating Index (CRI) – julga-se servir para melhor perceber como surge o modelo proposto nesta dissertação.

3 Modelo Proposto para Avaliação Integrada e Expedita da Condição de um Pavimento

3.1 Introdução

Pretendeu-se lançar os princípios de uma ferramenta inovadora, que auxilie os técnicos avaliadores no levantamento dos dados necessários à classificação do desempenho dos pavimentos, de forma integrada e expedita.

Surgiu assim, o que se designa de Índice Integrado de Avaliação Expedita (IIAE), que é proposto pelo signatário na presente dissertação.

O objectivo pretendido é o de obter um modelo de avaliação expedito, que possa servir de base a futuros modelos, adoptados pelas administrações dos aeródromos e ajudá-las a aplicar sistemas de gestão de pavimentos, com três características principais: serem credíveis e úteis; serem pouco dispendiosos; e serem expeditos, sem a necessidade de condicionar operações. Tornou-se óbvia a necessidade de aproveitamento máximo das valências indispensáveis à prossecução deste objectivo.

O conceito que se pretende introduzir, ainda que numa fase embrionária, consiste na integração de valências, cruzando, num mesmo modelo, duas faces cada vez mais afastadas com a automatização de cálculos e procedimentos. Procurou-se integrar as conhecidas capacidades dos modelos matemáticos (apesar de muito simples), com as capacidades humanas e subjectivas de avaliação imediata.

Não se pretende retirar qualquer valor aos modelos computacionais, mais completos e complexos, nem sequer com eles concorrer. O objectivo passa por desenvolver uma alternativa mais expedita, a mais precisa possível mas, ao mesmo tempo, menos exigente do ponto de vista de meios técnicos e humanos, assim como de interferência com as operações das infraestruturas avaliadas, tornando toda esta fase menos onerosa.

A grande vantagem de semelhante procedimento parece ser que todos os aeródromos poderão ter acesso a este modelo, continuando a veicular mais recursos financeiros para a fase da intervenção nos pavimentos, conseguindo assim melhorar as condições dos pavimentos e, por consequência, melhorar as condições de segurança, conforto e durabilidade para todos aqueles que usufruem e dependem destes pavimentos.

Um modelo com estas características necessita de menos avaliadores e técnicos nas inspecções, assim como de equipamentos de medição e ensaio. Conflitua menos com as normais operações dum aeródromo, permitindo ainda o estreitamento da periodicidade normalmente implementada para as avaliações da condição e do

comportamento dos pavimentos ao longo do tempo. Deste modo, poder-se-á contribuir de forma decisiva, em qualquer tipo de aeródromo, para uma decisão de intervenção de manutenção ou reabilitação atempada e com objectivos bem delineados.

A descrição de procedimentos a adoptar, bem como de sugestões que se julguem pertinentes, em cada uma das fases de desenvolvimento da avaliação dos pavimentos, é apontado de seguida, começando pelo processo de divisão dos pavimentos, seguido dos procedimentos para a avaliação subjectiva, da avaliação objectiva, da integração da avaliação do desempenho funcional e, por fim, a metodologia de cálculo do índice desenvolvido.

3.2 Processo de Divisão dos Pavimentos (Grelha D)

O processo de divisão do pavimento sugerido neste trabalho foi função do pavimento sob análise e também da sua geometria. Dão-se de seguida algumas formas práticas de dividir o pavimento das zonas, em secções, de forma a agilizar as avaliações subsequentes e a facilitar a localização das secções no local, por parte do avaliador.

Tendo em consideração a descrição dos elementos de um aeródromo, esclarece-se o que, daqui em diante, se entende por rede de pavimentos, zonas e secções.

Por Rede de Pavimentos entenda-se todo o conjunto de áreas pavimentadas, utilizadas pelo tráfego aéreo: pistas, caminhos de circulação, placas de estacionamento e manutenção, etc (VELOSO, 2001).

Por Zona entende-se a divisão da rede de pavimentos total nas áreas com funções e características específicas em termos aeronáuticos, ou seja, uma placa de estacionamento ou um caminho de circulação. O importante é o pavimento possuir características homogéneas de idade, tipo de construção e tipo de utilização. Caso não se verifiquem estas condições, divide-se a zona em duas sub-zonas distintas, por exemplo, uma placa de estacionamento com utilização ou capacidade do pavimento distintas deve ser separada em duas sub-zonas (Figura 3.1). Veloso (VELOSO, 2001) designa de “Ramo” o que aqui se entende por Zona.

Ao contrário do que acontece com a vulgar divisão de pavimentos aeronáuticos para determinação do PCI (Pavement Condition Index), o modelo proposto não recorre a amostragem. Por isso mesmo, a menor divisão do pavimento designa-se de Secção.

Na posse das plantas gerais do aeródromo, de preferência em formato digital, o avaliador deve começar por identificar as zonas, alvo de avaliação. Para tal deve consultar todos os dados disponíveis acerca dos projectos de execução dos

pavimentos, bem como dos ensaios de carga realizados, composição estrutural e tráfego, de modo a que a divisão da rede de pavimentos em zonas verifique as condições supracitadas. Resumem-se os passos necessários a adoptar nesta fase (VELOSO, 2001):

- Dividir a área da rede de pavimentos a avaliar, em zonas;
- Verificar a uniformidade de características das zonas identificadas, segundo os critérios definidos atrás;
- Utilizar plantas de escalas menores (1:50 ou 1:100) para os registos de observação;
- Caso seja possível, utilizar plantas de pavimentos que contenham o tipo, a constituição e o ano de construção desses pavimentos.

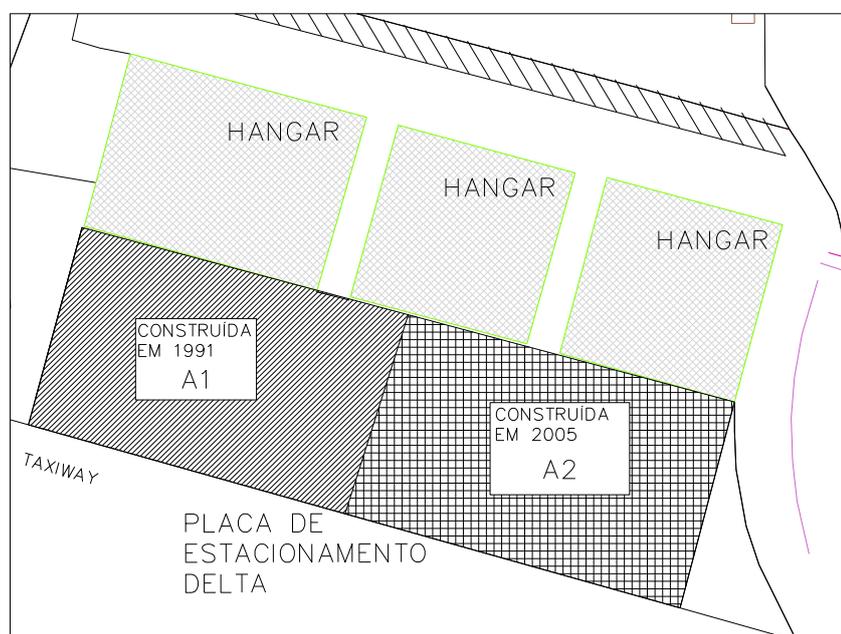


Figura 3.1 Exemplo de divisão e designação de duas sub-zonas de uma placa de estacionamento de aeronaves

Procedeu-se à atribuição de códigos às zonas identificadas, com o intuito de contribuir para a constituição de uma base de dados útil, ao longo do tempo, com as várias inspecções. Utilizaram-se os seguintes códigos (Tabela 3.1).

Tabela 3.1 Códigos de Zona, definidores do tipo de utilização, segundo (VELOSO, 2001)

Código	Tipo de utilização	Código	Tipo de utilização
R	Pista principal (Runway)	S	Bermas (Shoulder's)
T	Caminho de circulação (Taxiway)	M	Placa de manutenção (Maintenance)
H	Placa de helicópteros (Helipad)	O	Cabeceiras da pista (Overruns)
A	Placa de estacionamento (Apron)	X	Outros

No caso de existir mais do que uma zona com o mesmo tipo de utilização, deve seguir-se um carácter numérico identificativo (Figura 3.1).

Com a divisão das zonas em secções percebe-se de forma lógica, o pavimento a analisar, dividido em pequenas fracções quadrangulares. Com o auxílio de um software de desenho assistido por computador (CAD), e com as plantas do aeródromo em formato digital, todo este processo torna-se mais simples.

Tendo em consideração as características próprias do modelo, as secções terão área inferior à preconizada como óptima para determinação do PCI (Tabela 3.2). Assim, sugerem-se as seguintes áreas e dimensões para as secções, consoante a zona da infraestrutura a analisar (Tabela 3.2 e Figura 3.2).

Tabela 3.2 Geometria sugerida para as secções em função da zona

Zonas	Áreas sugeridas (m ²)	Dimensões sugeridas (m)	Área preconizada para o PCI, segundo (VELOSO, 2001) (m ²)
R, S e O	200	20 x 10	450 para ACC* 20 lajes para PCC**
T	150	15 x 10	
H, A, M e X	100	10 x 10	

* Designação americana para pavimentos flexíveis (Asphalt Concrete Cement)

** Designação americana para pavimentos rígidos (Portland Concrete Cement)

À grelha teórica desenhada para o pavimento a analisar dá-se o nome de Grelha D (ou Matriz D).

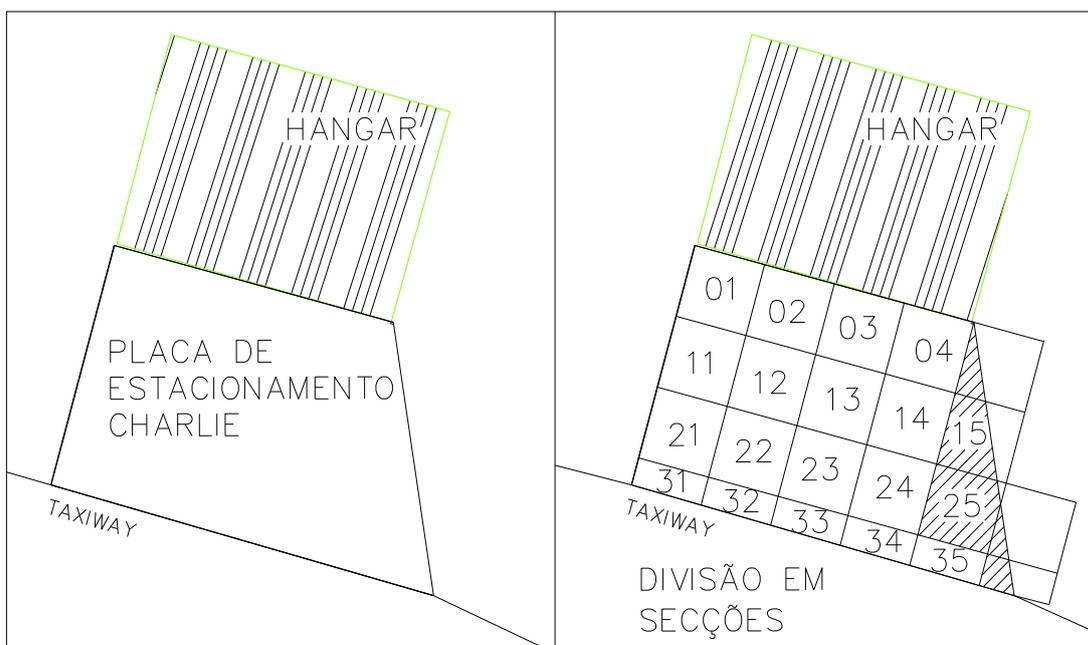


Figura 3.2 Exemplo de divisão de uma Zona de pavimento (placa de estacionamento em pavimento flexível) em secções numeradas (10 m x 10 m)

Efectuada a grelha teórica sobre a área de pavimento em estudo verifica-se que existem algumas bandas de pavimento que excedem a dimensão de qualquer das secções (por exemplo, Figura 3.2, zona a tracejado). Quando elas representam mais de 25% do quadrilátero da grelha (i.e. secção) devem ser numeradas individualmente (para o exemplo fictício da Figura 3.2, a Tabela 3.3 justifica a classificação). No caso contrário, devem integrar o quadrilátero, ou secção, adjacente (precedente). A Tabela 3.4 sintetiza esta informação.

Tabela 3.3 Descrição da classificação efectuada no exemplo da Figura 3.2

Número da secção	Área (m ²)	%	Observações
05	21,93	22	Não é numerada e a área passa a ser incluída na secção 04.
15	65,32	65	É numerada e considerada uma secção.
25	98,01	98	É numerada e considerada uma secção.
26	10,86	11	Não é numerada e a área passa a ser incluída na secção 25.
31 - 35	39,08	39	São numeradas e consideradas secções.
36	18,08	18	Não é numerada e a área passa a ser incluída na secção 35.

A razão das menores áreas propostas prende-se com o facto do avaliador, sozinho, ter de observar cada secção como um todo, e classificá-la em concordância. Reduz-se o risco de existência de mais anomalias por secção e, por consequência, diminuem-se as dúvidas suscitadas para quais são as anomalias preponderantes.

A Grelha D deve estar identificada com o número das secções seguindo os critérios definidos nos desenhos. Deve haver a preocupação de orientar as linhas e/ou colunas desta grelha segundo a maior dimensão em planta da Zona em análise, de modo a existir o maior número possível de secções em que a área de pavimento corresponda a 100%.

Da sobreposição da grelha com a área da parte da infraestrutura do aeródromo em estudo podem surgir algumas secções que excedem a área pavimentada. Nessas situações, o critério sugerido resulta da aplicação da Tabela 3.4.

Tabela 3.4 Numeração e classificação de secções parciais de pavimento

Área de pavimento contida na secção	Numerar	Classificar individualmente	Observações
Mais de 25%	Sim	Sim	Classificar normalmente
Menos de 25%	Não	Não	Integrar na classificação da secção contígua (número anterior ou seguinte)

A definição de como dividir o pavimento de uma Zona de um aeródromo deve ser feita na primeira aplicação do modelo proposto, devendo ser seguida em todas as avaliações futuras.

3.3 Avaliação Subjectiva Directa da Condição do Pavimento (Matrizes S e S')

Uma vez efectuada a divisão do pavimento a analisar, pode-se dar início aos procedimentos de classificação da condição do pavimento, mediante as indispensáveis inspecções ao local.

A avaliação subjectiva é a primeira de duas avaliações distintas que este modelo propõe, que devem ter lugar aquando da inspecção ao local. A avaliação subjectiva deve ser a primeira porque é preferível que o avaliador não tenha já observado a gravidade das anomalias de cada secção individualmente. Se, por um lado, é altamente recomendável tratar-se de alguém com bastante experiência neste tipo de pavimentos em particular, estaria a ser influenciado, à partida, por uma classificação que se pretende seja feita independentemente, *a posteriori*.

O avaliador deve, então, começar a percorrer a pé o pavimento a avaliar, localizando, com base na planta do aeródromo e na matriz que se lhe sobrepõe, a primeira secção. Com base na sua experiência de pavimentos aeronáuticos já inspeccionados, e muito importante também, do seu conhecimento acerca da realidade do aeródromo em questão, deverá observar atenta e individualmente cada secção como um todo, classificando-a.

Tendo sido consultada a bibliografia disponível, pareceu adequado considerar 5 níveis para caracterizar o estado de conservação do pavimento. Trata-se de uma hierarquização que considera os seguintes escalões: mau, medíocre, razoável, bom e muito bom.

Traduzindo para uma classificação mais detalhada, definem-se os seguintes critérios (Tabela 3.5).

Tabela 3.5 Classificação Subjectiva Directa da Condição dos Pavimentos

Classif	Escalão	Designação	Descrição
1	Mau	Pavimento em ruína	A condição do pavimento condiciona a operacionalidade e/ou coloca em risco a segurança das aeronaves e pessoas que o utilizam
2	Medíocre	Pavimento com estado de desempenho fraco	Apesar de não colocar em risco evidente a segurança das aeronaves e pessoas que o utilizam, apresenta defeitos que necessitam ser corrigidos rapidamente
3	Razoável	Pavimento com estado de desempenho normal	Apresenta as condições de deterioração decorrentes da utilização e envelhecimento naturais. Apesar de não colocar em causa a segurança nem necessitar de intervenções de manutenção imediatas, apresenta anomalias que requerem uma monitorização apertada e cuidada
4	Bom	Pavimento em boas condições	Apresenta as condições normais decorrentes da utilização e envelhecimento, com pequenas anomalias que não requerem monitorização
5	Muito bom	Pavimento em excelente condição	Apresenta as condições ideais, de novo e bem construído, sem qualquer anomalia

Nesta fase que se designa de Avaliação Subjectiva Directa da Condição do Pavimento, com base na Grelha D anteriormente definida, coloca-se a classificação para cada um dos quadriláteros (secções). Deste modo obtém-se uma matriz (Matriz S) como a da Figura 3.3.

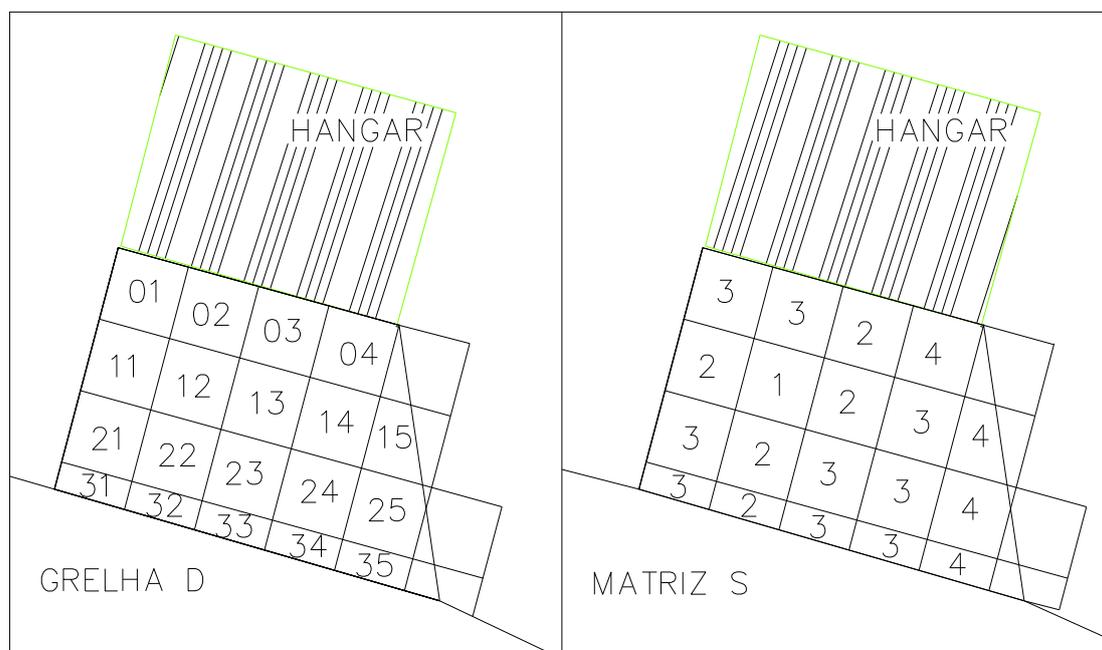


Figura 3.3 Grelha D e Matriz S para o exemplo da Figura 3.2

3.4 Avaliação do Índice de Manifestação de Degradação (Matriz A)

Os Índices de Manifestação de Degradação (Distress Manifestation Index – DMI) são índices que classificam, o mais objectivamente possível, a condição de degradação e de fadiga da superfície dos pavimentos.

O índice que se pretende implementar neste modelo terá de corresponder a uma classificação objectiva da condição da superfície do pavimento. Deve possuir uma correspondência de escala à classificação da Avaliação Subjectiva Directa da Condição do Pavimento obtida. Terá ainda de proporcionar a sua implementação por um único avaliador e de recorrer a procedimentos simples e expeditos.

Nestas condições, torna-se mais importante a correcta identificação de anomalias, que repercutem problemas estruturais do pavimento, de drenagem ou de utilização, do que quantificar a sua densidade por unidade de área do pavimento. Estando a trabalhar com secções de reduzida dimensão (quando comparadas com as preconizadas por outros modelos como o PCI), a identificação de duas anomalias condicionantes do desempenho dessa fracção do pavimento torna-se mais relevante do que a medição da sua densidade.

Consegue-se assim diminuir o tempo de avaliação das secções do pavimento, potenciando a sua inspecção por uma única pessoa, reduzindo nos encargos associados a esta fase de levantamento e processamento de informação.

Nesta fase, o avaliador deve observar atentamente cada secção do pavimento, analisando todas as possíveis anomalias existentes, classificando-as segundo a sua importância relativamente às demais existentes nessa secção. Essa classificação deve ser apontada numa matriz, designada de Matriz A (Tabela 3.6).

Tabela 3.6 Excerto de um exemplo de Matriz A

		Identificação numérica das secções				
		01	02	03	04	...
Tipos de anomalias*	A.I.1					
	A.I.2					
	A.I.3					
	A.I.4					
	A.II.1					
	...					

* São descritos posteriormente os códigos atribuídos aos diferentes tipos de anomalias.

Ser uma das anomalias condicionantes (Tabela 3.7) significa que é a mais gravosa ou das mais gravosas (Tabela 3.8), quando comparada com as outras existentes nessa secção. Em cada secção não poderão ser classificadas mais de três anomalias com o nível 2. Só deverão existir três anomalias classificadas com 2 em caso de dúvida do avaliador sobre qual das três a menos gravosa, o que só poderá ocorrer, no máximo, em 10% das secções.

Tabela 3.7 Designação correspondente à Classificação das Anomalias

Classificação	Designação
2	Anomalia condicionante da avaliação e do desempenho do pavimento da secção
1	Anomalia existente mas não condicionante da avaliação e do desempenho do pavimento da secção
0	Anomalia não existente no pavimento da secção

A classificação das anomalias (individualmente) deve respeitar os critérios sistematizados na Tabela 3.8:

Tabela 3.8 Critérios de Classificação das Anomalias

Critério		Classificação
A anomalia existe na secção	É a única anomalia detectada	2
	Existem outros tipos de anomalias na secção mas esta é a mais gravosa	
	Existem outros tipos de anomalias na secção mas esta é uma das duas mais gravosas*	
	Existem outros tipos de anomalias na secção mas esta é uma das três mais gravosas, não se conseguindo distinguir as duas mais gravosas.**	
	Existe outra anomalia mais gravosa na mesma secção	1
A anomalia não existe na secção		0

* É evidente a distinção entre as duas anomalias mais gravosas e as restantes detectadas na secção.

** Pode acontecer, no máximo, em 10% das secções em análise.

Com este método classificativo, tenta-se contornar algumas das reconhecidas dificuldades dos métodos mais complexos que exigem, entre outros, a mensuração da densidade das anomalias identificadas, a definição da classificação da gravidade das anomalias separadamente, ou mesmo a consulta de uma variedade de ábacos e tabelas para o cálculo do índice de condição.

A simplicidade da classificação aqui preconizada conduz a uma redução no risco da identificação da gravidade das anomalias. Elimina ainda a sobrecarga de procedimentos e a incerteza associada à medição da densidade das anomalias.

A avaliação deve começar pela primeira secção avaliada na fase anterior, seguindo a mesma sequência e consultando apenas a Matriz S' (Figura 3.4), preenchida anteriormente, para esclarecimento de dúvidas na localização relativa do avaliador.

Em cada secção, o avaliador deve percorrer a pé toda a área, tão devagar quanto necessário para uma completa identificação das anomalias presentes. Após esse levantamento, poderá colocar-se num vértice da secção e avaliar de entre as anomalias identificadas, qual ou quais as condicionantes do desempenho do pavimento, passando de seguida à próxima secção e assim sucessivamente, até ter a Matriz A (Tabela 3.6) completamente preenchida.

3.5 Integração da Textura Superficial no Modelo do Índice Integrado de Avaliação Expedita

Depois de observada a componente subjectiva e objectiva da avaliação da condição do pavimento, será normal constatar algumas variações entre elas, ou seja, casos onde a avaliação não coincide. Apesar de não ser surpreendente, julga-se pertinente adicionar uma última componente, integrando mais uma valência, sem com isso dificultar significativamente o processo de avaliação.

É com este objectivo que se propõe a integração da avaliação da textura superficial, que integra a outra face da avaliação de um pavimento, a funcional, concretizada por ensaios práticos que terão de responder perante os requisitos originais do modelo desenvolvido, isto é, serem expeditos e de baixo custo.

Facilmente se conclui que o ensaio que reúne estas características é o ensaio expedito à macrotextura, ou seja, o ensaio volumétrico para determinação da textura de um pavimento, também designado de ensaio da mancha de areia.

Este ensaio e a interpretação dos seus resultados permite despistar e calibrar situações onde a inexperiência do avaliador poderia resultar em avaliações menos precisas. Como a balizagem da interpretação dos resultados só foi possível depois de eles terem sido realizados, o procedimento de obtenção será explicitado posteriormente, no caso de estudo, onde se aplicou o modelo proposto e agora apresentado.

Contudo, a influência destes parâmetros no Índice Integrado de Avaliação Expedita (IIAE) tem de ficar explícita por ora. A tabela de enquadramento proposta pelo autor para os resultados do ensaio de campo encontra-se na Tabela 3.9.

Tabela 3.9 Enquadramento da macrotextura no modelo do IIAE

Hs (mm)	Classificação da secção - M_i	Gráfico
]0 ; 0,6]	1	
]0,6 ; 0,8]	2	
]0,8 ; 1,0]	3	
]1,0 ; 1,2]	4	
]1,2 ; 1,4]	5	
]1,4 ; 1,6]	4	
]1,6 ; 2,0]	3	
]2,0 ; 2,4]	2	
]2,4 ; +∞[1	

Esta escala tem como fundamento os seguintes aspectos: o facto de 0,6 mm ser o mínimo admitido para pavimentos novos pela EP, para pavimentos de betão betuminoso segundo o CEIEP (JAE, 1998); e o facto de se saber que pelas características próprias de um pavimento aeronáutico, nomeadamente, ao praticarem-se velocidades elevadas e ao ter de garantir boas condições de drenabilidade com pequenas pendentes (por exemplo, nas placas de estacionamento, a pendente terá de variar entre 0,5 e 1,0% nas posições de estacionamento, a um máximo de 1,5% nas restantes áreas (ICAO, 1983)).

Desta forma, os pavimentos aeronáuticos deverão, idealmente, ter texturas geralmente designadas de “Grossa” ou “Muito grossa”, variando desta forma entre os 0,8 mm e 1,6 mm (SPECHT, et al., 2007).

Os restantes intervalos são resultado dos ensaios realizados e da consulta de trabalhos publicados (MENEZES, 2008).

A aferição da macrotextura da superfície do pavimento poderá ser realizada sempre que surjam dúvidas acerca da textura do pavimento sob análise e, por consequência, do atrito desenvolvido entre pneu e pavimento.

A realização de dois a três ensaios em cada zona do pavimento em avaliação permite obter uma classificação integrada mais abrangente, classificando não só a avaliação estrutural do pavimento, mas também a funcional, com as preocupações objectivas de segurança e de conforto a serem visadas explicitamente.

Numa fase inicial do desenvolvimento deste método e de forma a forçar a compensação da eventual inexperiência do avaliador, propõe-se que a classificação proveniente do ensaio da mancha de areia tenha um peso de 50% na classificação do IIAE de cada secção, sempre que exista o resultado desse ensaio e seja válido. Essa metodologia de cálculo será apresentada de seguida.

3.6 Metodologia de Cálculo do Índice Integrado de Avaliação Expedita (IIAE)

3.6.1 Introdução

Neste ponto descreve-se o procedimento de obtenção matemática do Índice Integrado de Avaliação Expedita (IIAE).

Tendo sido desenvolvido com a experiência adquirida no Caso de Estudo feito pelo signatário é natural que necessite de afinamentos, mas eles só serão possíveis de determinar com mais aplicações. De realçar, contudo, que o objectivo deste estudo é desenvolver um método o mais simples possível e que, por isso, os factores de correcção deverão ser explícitos e de preferência empíricos.

Descrevem-se de seguida os procedimentos para apurar o IIAE primeiro para uma secção e depois para uma zona de pavimento numa infraestrutura aeronáutica.

3.6.2 Cálculo do DMI e IIAE para uma secção

Levantadas e classificadas as anomalias de cada secção, o cálculo do IIAE é relativamente simples, passando primeiro pelo cálculo do DMI.

A classificação atribuída a cada anomalia durante a avaliação objectiva distingue três situações: a não existência da anomalia; a sua existência; e a existência de anomalias com preponderância sobre as demais.

Atribuiu-se naturalmente mais peso, na determinação do DMI, à quantidade de anomalias classificadas com 2 (Tabela 3.7), por serem condicionantes da classificação da secção, sabendo que poderão existir entre 0, no caso de não ser identificada nenhuma anomalia na secção, e 3, num máximo de 10% do número de secções da zona.

Procede-se então à soma do número de anomalias em cada secção, classificadas com 2, a qual se pode denominar variável Y, e somar o número de anomalias, também em cada secção, classificadas com 1, que se denominará de variável X.

Tabela 3.10 Exemplo de Determinação das Variáveis "X" e "Y"

Secção	3
A.I.1	1
A.I.2	0
A.I.3	2
A.I.4	0
A.II.1	0
A.II.2	1
A.II.3	1
A.II.4	0
A.III.1	0
A.III.2	0
A.III.3	0
A.III.4	1
A.III.5	0
A.III.6	0
A.IV.1	0
A.IV.2	1
A.V.1	2
A.V.2	0
X	5
Y	2

Para o exemplo da Tabela 3.10, $X = 5$ e $Y = 2$.

Sabe-se até agora que Y tomará valores entre 0 e 3. Por seu lado, X poderá variar entre 0, no caso da secção não apresentar nenhuma ou somente uma anomalia e 12, valor que se propõe como máximo admissível para sobreposição de anomalias numa secção. Este valor tem como significado que não se julga possível identificarem mais de 13 anomalias numa secção, ou seja, se $X = 12$, Y será, pelo menos, igual a 1, e que portanto não será possível, numa tão reduzida área, identificar mais de 13 diferentes anomalias. Significa que se está a admitir que 30% das anomalias possíveis são mutuamente exclusivas (fisicamente) numa secção, com as restantes.

No final da avaliação objectiva, caso se conclua que existem mais de 10% de secções com $Y = 3$, o avaliador deve despromover algumas anomalias de classificação 2 (anomalia condicionante) a 1 (anomalia existente), seguindo o real conhecimento do pavimento e, caso estritamente necessário, realizar nova passagem pelas secções em causa. O mesmo deve acontecer caso se verifique em qualquer secção que $X > 12$, pois certamente terá ocorrido uma deficiente identificação das anomalias, aconselhando-se o avaliador a consultar os manuais ilustrativos, de que são exemplos o apresentado

posteriormente no presente trabalho (Capítulo 5), ou ainda em (VELOSO, 2001) e no (U. S. Department of Transportation, 2004).

Apuradas as variáveis X e Y para todas as secções e verificadas as condições supracitadas, aplica-se a seguinte fórmula matemática, proposta pelo signatário, para o cálculo do DMI_i [4].

$$DMI_i = 5 - \frac{a \times X_i + b \times Y_i}{c} \quad [4]$$

Onde:

DMI_i – valor do Índice de Manifestação de Degradação da secção i, arredondado às centésimas;

a – peso relativo atribuído às anomalias apenas existentes = 0,5;

b – peso relativo atribuído às anomalias existentes e condicionantes = 1,5;

c – coeficiente de correcção = 7/3, que deverá ser posteriormente ajustado a cada caso;

X_i – número de anomalias classificadas com 1, na secção i (Matriz A);

Y_i – número de anomalias classificadas com 2, na secção i (Matriz A).

No entanto, para determinar o IIAE falta ainda cruzar com a classificação da avaliação subjectiva e, se existente, da textura superficial. Para tal propõem-se as seguintes fórmulas [5] e [6]:

$$IIAE_i = (p_s \times S_i + p_o \times DMI_i) / d_k \quad [5]$$

$$IIAE_{i,T} = (IIAE_i + M_i) / 2 \quad [6]$$

Onde:

$IIAE_i$ – Índice Integrado de Avaliação Expedita da secção i, arredondado às centésimas;

$IIAE_{i,T}$ – Índice Integrado de Avaliação Expedita da secção i, com resultado da macrotextura, arredondado às unidades;

M_i – valor da classificação da secção-tipo decorrente da avaliação da macrotextura, Tabela 3.9

p_s – peso relativo atribuído à avaliação subjectiva = 0,6;

S_i – classificação na Matriz S da secção i;

p_o – peso relativo atribuído à avaliação objectiva = 0,4;

DMI_i – valor do índice de manifestação de fadiga da secção i , arredondado às centésimas

d_k – factor de correcção dado pela Matriz B (Tabela 3.11).

Tabela 3.11 Matriz B para factor de correcção d_k

		S _i - Classificação da Avaliação Subjectiva Directa da Condição do Pavimento para a secção i				
		1	2	3	4	5
Valor obtido do DMI_i pela equação [4],	1	1	1	1		
	2	1	1	1	1	
	3	1	1	1	1	
	4	2	1	1	1	1
	5				1	1

É proposta esta matriz (Matriz B) com os dados recolhidos no Caso de Estudo, embora só com a adopção de mais casos práticos pudesse ser devidamente calibrada.

Esta matriz (Matriz B) serve para resolver o caso específico da existência de apenas uma anomalia na secção i (nesse caso $DMI_i = 4$). Se essa anomalia tiver gravidade para que a avaliação subjectiva (S_i) tenha sido que o pavimento se encontra em estado de ruína ou de pré-ruína (classificação de 1), só com a aplicação deste factor de correcção ($d_k = 2$) o resultado será correcto.

As zonas sombreadas são combinações que significariam a ocorrência de incompatibilidade grave, que teriam de ser resolvidas pelo avaliador, com um processo de avaliação revisto. Essa combinação da Avaliação Subjectiva Directa da Condição do Pavimento e da Avaliação do Índice de Degradação impediria a aplicação racional do modelo. Um exemplo dessa situação seria apurar-se um $DMI_i = 1$, ou seja, serem identificadas muitas anomalias na secção i e, independentemente, ter sido atribuída, para a mesma secção, uma avaliação subjectiva de 4 (pavimento em boas condições) ou 5 (pavimento em excelentes condições).

Os pesos relativos atribuídos nas fórmulas [4] e [5] (a , b , p_s e p_o), bem como o factor de correcção c (fórmula [4]), provêm da experiência adquirida no desenrolar do Caso de Estudo, na impossibilidade da recolha de mais dados.

Os pesos a e b são, naturalmente, o reflexo da maior importância dada às anomalias condicionantes (Tabela 3.7) da avaliação de uma secção. Depois de avaliado o Caso de Estudo, foi possível verificar que uma valorização de 3:1 destas anomalias perante as anomalias apenas existentes (Tabela 3.7) nas secções analisadas era uma boa estimativa, permitindo, juntamente com o factor de correcção c , obter um resultado

do DMI_i correspondente às expectativas (expectativas resultado das orientações fornecidas pelos ensaios e da percepção subjectiva do signatário).

Já os pesos relativos a atribuir à avaliação subjectiva e ao índice DMI (p_s e p_0), reflectem a necessidade de aumentar a responsabilidade da avaliação subjectiva (60%), com a finalidade de corrigir os casos em que a simplicidade e a falta de casos de aplicação do modelo matemático traduziriam incorrectamente a realidade. Com a calibração futura dos factores c e d_k , dos pesos relativos e de eventuais factores de correcção que se julga importante adicionar nas futuras aplicações, esta valorização relativa das avaliações deverá dissipar-se.

3.6.3 Cálculo do IIAE para uma zona

O procedimento para o cálculo do IIAE de uma zona do pavimento, por exemplo, de uma placa de estacionamento com um único tipo de piso, uniforme e sem utilizações claramente distintas, resume-se ao cálculo da média aritmética dos $IIAE_i$ obtidos [7]:

$$IIAE = \frac{\sum_i^n IIAE_i}{n} \quad [7]$$

Onde:

IIAE – Índice Integrado de Avaliação Expedita de uma zona, arredondado às unidades;

$IIAE_i$ ou $IIAE_{i,T}$ – Índice Integrado de Avaliação Expedita da secção i , ou o mesmo índice com correcção generalizada da macrotextura, arredondado às unidades,;

n – número de secções na zona de pavimento

O valor obtido para o IIAE é traduzido na mesma escala que foi introduzida para a avaliação subjectiva, anteriormente (Tabela 3.5).

É importante salientar que este valor final para a zona avaliada não traduz mais do que a média das avaliações de todas as secções, não dispensando por isso um olhar crítico sobre o mapa de classificações do $IIAE_i$, pois podem ocorrer situações mais ou menos pontuais que necessitem de atenção pormenorizada e diferenciada.

3.7 Síntese

O modelo do IIAE surge como uma resposta à necessidade dos aeródromos, em especial dos mais pequenos, devido às suas limitações orçamentais, terem acesso a ferramentas simples e pouco dispendiosas que lhes possibilitem iniciar um Sistema de Gestão de Pavimentos, tal como se prevê que venha a ser obrigatório em breve.

Estão lançadas desta forma as bases de um método simples, expedito e pouco dispendioso, de avaliação da condição de um pavimento aeronáutico, que recorre à avaliação da totalidade da sua superfície, com procedimentos que pretendem torná-lo metódico e credível ao mesmo tempo que acrescenta valor às gestões dos aeródromos que o adoptem.

Parte de uma filosofia inovadora, ao basear-se num método comparativo para a classificação da gravidade das anomalias e com um objectivo ambicioso de cruzar com sucesso dois tipos de avaliação distintas, uma subjectiva e outra objectiva.

À semelhança do que foi introduzido com um dos últimos índices a ser desenvolvido nesta área específica, o CRI, o modelo do IIAE pretende integrar o maior leque de valências possível continuando a cumprir os objectivos a que se propôs. Para esse efeito, incorpora como componente essencial a medição objectiva, segundo ensaios expeditos a parâmetros do desempenho funcional do pavimento, como é a macrotextura, concretizados através de ensaios de Mancha de Areia. Este ensaio tem como vantagem servir ao mesmo tempo de indicador do atrito, de desempenho do pavimento à drenagem das águas superficiais e de indicador da própria condição de degradação do pavimento.

Por outro lado, a forma de cálculo dos diferentes procedimentos deste novo modelo são apresentados após uma única aplicação para calibração e verificação dos resultados. A formulação matemática não é, naturalmente, apresentada na sua forma final, ou seja, estará durante as próximas aplicações práticas sujeita a melhoramentos significativos no que diz respeito tanto ao cálculo do DMI_i (fórmula [4]), dos pesos relativos na fórmula do $IIAE_{i,T}$ (fórmulas [5] e [6]) como também da matriz d_k (Tabela 3.11).

Com o aumento da experiência adquirida com o tempo e com as aplicações deste modelo, prevêem-se também como úteis, as introduções de factores de correcção, como por exemplo, da experiência do avaliador.

4 Caso de Estudo – Aeródromo Municipal de Cascais

4.1 Introdução

Apresentados os procedimentos teóricos para a concretização da aplicação do Índice Integrado de Avaliação Expedita (IIAE), realiza-se de seguida a apresentação do Caso de Estudo, o Aeródromo Municipal de Cascais (AMC), incluindo a descrição do aeródromo e os dados relevantes respeitantes aos seus pavimentos, seguida da demonstração da implementação do IIAE.

Neste capítulo, descreve-se mais em pormenor o modelo do IIAE, de modo a aproveitar as circunstâncias características do trabalho de campo para exemplificar algumas das opções tomadas e dificuldades encontradas durante o mesmo.

Dentro da rede de pavimentos do aeródromo é dada maior relevância à placa de estacionamento Alfa. A primeira avaliação da condição dos pavimentos segundo o método do Índice Integrado de Avaliação Expedita (IIAE) foi aqui efectuada.

Posto isto, começa-se por descrever sucintamente o Aeródromo Municipal de Cascais, realçando as suas características físicas, localização, mercado alvo, idade de construção e obras de beneficiação dos seus pavimentos. Este tipo de informação deve sempre constar em qualquer relatório-tipo de uma avaliação ao estado dos pavimentos deste género de infraestruturas.

4.2 Caracterização do Aeródromo

O Aeródromo Municipal de Cascais localiza-se a 2 km do centro da localidade de Tires, concelho de Cascais, distrito de Lisboa. Situando-se muito próximo do Oceano Atlântico (distância aferida de 3,5 km) tem uma altitude de referência de 326' (99 m aproximadamente). Em termos aeronáuticos, as coordenadas do ponto de referência do aeródromo, localizado no centro da pista principal, são: 38º 43' 32" N e 09º 21' 19" W.

A orientação da pista (QFU – Aviation Q-code for Magnetic Heading of a Runway) é 17/35 e foi implementada tendo em conta a direcção dos ventos predominantes. Na região são geralmente do quadrante Norte, com uma decorrente maior utilização da pista 35. A temperatura média anual ronda 22,9 °C e a precipitação média 735 mm (RDPE, Desenvolvimento de Projectos Empresariais, 1999).



Figura 4.1 Aeródromo de Tires visto do céu, extraída de (ARCASCAIS E. M., 2009)

O Aeródromo Municipal de Cascais consiste na pista, de orientação 17/35, com 1700 m de comprimento total e 30 m de largura, num caminho de circulação do lado nascente com 1000 m, paralelo à pista, e mais quatro caminhos de circulação do lado poente, de acesso às diferentes placas de estacionamento, 5 no total (A, B, C, D, E).

As características geométricas destes elementos do aeródromo estão sintetizadas nas Tabela 4.1, Tabela 4.2, Tabela 4.3, Tabela 4.4 e Tabela 4.5.

Tabela 4.1 Características geométricas da Pista do AMC, adaptado de (FONTUL, 2007)

Comprimento Total	1700 m
Comprimento entre soleiras	1190 m
Largura	30 m
Largura das bermas	2,5 m

Tabela 4.2 Características dos caminhos de circulação do AMC, adaptado de (FONTUL, 2007)

Caminho de Circulação Nascente	Comprimento Total		1000 m
	Largura		10 m
	Espessura total camadas	Betuminosas	0,14 m
Caminhos de Circulação Poente		Whiskey	Comprimento
	Largura		20 m
	Kilo	Comprimento	250 m
		Largura	15 a 50 m
	Juliet	Comprimento	70 m
		Largura	7 e 20 m
	Charlie F.	Comprimento	85 m
		Largura	30 m

Tabela 4.3 Características dos caminhos de circulação poentes do AMC, adaptado de (FONTUL, 2007)

	Whiskey	Kilo	Juliet	Charlie F.
Comprimento	250 m	250 m	70 m	85 m
Largura	20 m	15 a 50 m (variável)	7 a 20 m	30 m
Espessura das camadas betuminosas	0,10 m	0,10 m	0,10 a 0,16 m	0,10 m
Espessura das camadas de material granular	0,35 m	0,35 a 0,4 m	0,35 a 0,45 m	0,25 a 0,40 m

Tabela 4.4 Características das placas de estacionamento a nascente do AMC, adaptado de (FONTUL, 2007)

Local		Área	Ano de Construção	Espessura camadas	
				Betuminosas	Granulares
Plataformas de Estacionamento Nascente	Alfa	2540 m ²	1977	0,05 a 0,11 m	0,20 m
	Alfa 1	2800 m ²			
	Bravo	12960 m ²	1967		

Tabela 4.5 Características das placas de estacionamento poentes do AMC, adaptado de (FONTUL, 2007)

	Delta1	Delta2	Echo1	Echo2
Dimensão da laje (m)	5,0 x 2,80 e 5,0 x 5,30	5,0 x 5,0	3,7 x 4,0	3,8 x 4,0
Dimensão total (m)	60 x 25	110 x 25	110 x 34	220 x 32
Espessura (m)	0,25	0,25		0,15
Base	Solo-cimento 0,10 m	Solo-cimento 0,10 m		Solo-cimento 0,10 m
Observações			Sem projecto disponível	

Exceptuando os lugares de estacionamento da placa Delta e a placa Echo, em pavimento rígido (lajes de betão de cimento), a totalidade da pista e dos caminhos de circulação são em betão betuminoso, assim como as placas de estacionamento Alfa, Bravo e Charlie.

Segundo informações contidas no último relatório desenvolvido pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) (FONTUL, 2007) para a empresa municipal gestora do mesmo – Arcasçais E. M. – com o fim de atribuir uma classificação ACN/PCN aos pavimentos do aeródromo, as espessuras originais das camadas da pista são as seguintes:

- Camadas betuminosas: 0,12 a 0,19 m
- Camadas de material granular: 0,20 a 0,30 m

Deve-se salientar que este estudo tem sido pedido regularmente ao LNEC. O último data de 2007, tendo sido realizados os ensaios, em Outubro e Novembro de 2005, com o intuito suplementar de aferir a necessidade de reforço da pista, para garantir uma utilização em segurança de aeronaves com um peso máximo à descolagem de 400 kN.

Estudos anteriores, ajudaram os órgãos gestores da infra-estrutura, a decidir sobre a necessidade de obras de manutenção e a certificar a utilização do aeródromo para determinadas aeronaves, como aconteceu em 1998, para o avião Fokker 100.

O restante historial de estudos anteriores aos pavimentos do aeródromo datam de Julho de 1987; de Outubro de 1990; e de Outubro de 1995.

Da inspecção visual, realizada pelos técnicos que elaboraram o supracitado relatório, da camada de desgaste da pista, foi possível concluir que: “O pavimento da pista está, de uma forma geral, em bom estado, com acabamento homogéneo e boa textura aparente” (FONTUL, 2007).

Segundo o mesmo relatório, os caminhos de circulação encontravam-se igualmente em bom estado. Por outro lado, as plataformas Alfa1 e Alfa2 foram consideradas em avançado estado de degradação com fendilhamento tipo pele de crocodilo e assentamentos.

Quanto aos pavimentos rígidos das plataformas poentes foi observado que as plataformas Delta2 e Echo2 apresentavam um fendilhamento que deveria ser alvo de selagem, com a falta ou deficiente selagem na Charlie R e Delta2, e ainda com fendas longitudinais, por sua vez, na Echo1 e Delta1.

Em 1986, os solos de fundação forneceram amostras do tipo A6 e A7, segundo a classificação rodoviária da AASHTO (AASHTO, American Association of State Highway and Transportation Officials, 2001), com índices de plasticidade compreendidos entre 20 e 25% (FONTUL, 2007).

4.3 Resenha Histórica

O Aeródromo Municipal de Cascais, também conhecido por Aeródromo de Tires, foi inaugurado a 11 de Outubro de 1964, com a designação de Campo de Turismo Conde Monte Real, tendo sido erigido nos antigos terrenos pertencentes ao Casal de Tires (AMC, Aeródromo Municipal de Cascais).

Todavia, as obras de construção iniciais só terminaram em 1966, contando com a ajuda de meios da Força Aérea Portuguesa, e servindo desde então a aviação geral (voos privados e de instrução) (RDPE, Desenvolvimento de Projectos Empresariais, 1999).

O local onde este se encontra implantado é dominado por uma grande bancada de rocha, constituída essencialmente por calcários e arenitos da denominada “Formação de Caneças”, de onde se retiraram, para a sua construção, blocos de dimensões significativas (AMC, Aeródromo Municipal de Cascais).

Devido à passagem pelo aeródromo de uma ribeira, – a Ribeira das Marianas – encontram-se ainda solos constituídos principalmente por aluviões, numa faixa paralela e outra transversal à pista (Câmara Municipal de Cascais).

O projecto original do aeródromo foi da autoria do Arquitecto Mário de Meneses e o primeiro avião levantou da pista do aeródromo pelas mãos do piloto civil Jorge Vargas.

Ao longo dos anos, o aeródromo tem sido alvo de obras de beneficiação e de ampliação, das quais são exemplo os vários hangares e outras instalações de apoio, que são hoje propriedade do município.

A ampliação da pista inicial, de 600 m para 1000 m permitiu que o aeródromo pudesse ser utilizado por aviões de maior capacidade e, conseqüentemente, tenha alcançado categoria internacional e certificação, que, actualmente, está em processo de avaliação para obter a classe III.C, segundo a classificação do INAC.

Mais recentemente, a ampliação do aeródromo tem sido mencionada de forma a possibilitar a este constituir-se como o destino preferencial da aviação executiva da região de Lisboa, bem como fomentar o turismo, de tão grande relevo nesta cidade. Para este propósito estão em estudo diversos investimentos nesta infra-estrutura, que visam torná-la num importante pólo económico desta região, com investimentos que ascendem a sete milhões de euros, que visam permitir, entre outros, a realização de seis a oito voos executivos por dia e abrigar mais aeronaves em hangares.

A utilização do aeródromo para a realização de voos “charter” e para servir de alternativa ao Aeroporto de Lisboa em casos pontuais, como más condições climáticas, é a mais ambiciosa e menos provável previsão do futuro próximo deste.

Do historial de intervenções de manutenção/ampliação há a destacar as obras de ampliação e reforço na década de 90. Estas consistiram essencialmente no prolongamento da pista em 600 m no topo 17 e 70 m no topo 35, e ainda num reperfilamento e reforço geral em betão betuminoso (FONTUL, 2007).



Figura 4.2 Aeródromo Municipal de Cascais, extraída de (ARCASCAIS E. M., 2009)

Tendo sido já abordada a constituição dos solos do aeródromo, observa-se que os terrenos envolventes estão moderadamente urbanizados (Figura 4.1 e Figura 4.2). A orografia existente, designadamente a proximidade ao morro de Manique (Figura 4.2), constitui um dos dois principais constrangimentos à ampliação da utilização do AMC. A densidade de urbanização representa o outro factor condicionante mais significativo.

Actualmente, o AMC continua a servir essencialmente à aviação civil. A maior percentagem de movimentos pertence à instrução e treino de voo (Escola Aerocondor, entre outras), nomeadamente com utilização das aeronaves Cessna 150, 152, 172, 210, 421, Dornier 228 e Short 360 (dois últimos de categoria média de peso para transporte aéreo) e ainda a aviação executiva, a hélice e jactos, e aviação ligeira de combate a incêndios, entre muitos outros tipos de aeronaves.

Os movimentos anuais totais de aeronaves rondavam os 40 mil em 1998, tendo duplicado em 2009, segundo os dados mais recentes.

4.4 Aplicação do Índice Integrado de Avaliação Expedita (IIAE)

4.4.1 Introdução

O Caso de Estudo será a Placa de Estacionamento Alfa do Aeródromo Municipal de Cascais.

Neste capítulo descreve-se mais em pormenor o modelo do Índice Integrado de Avaliação Expedita (IIAE), de modo a tirar partido das circunstâncias características do trabalho de campo para exemplificar algumas das opções tomadas e as dificuldades encontradas no mesmo.

Por razões da dimensão do volume de dados necessários e tempo exigido para os levantar e processar, esta análise não se estende a todos os pavimentos do aeródromo. No âmbito do presente trabalho apenas se pretendem demonstrar as suas mais-valias numa aplicação prática no terreno.

As diferentes fases essenciais de aplicação do IIAE, como sejam a divisão dos pavimentos e o cálculo final do índice para a Placa Alfa, seguiram os critérios definidos anteriormente. Contudo, apresentam-se sugestões decorrentes da experiência adquirida nesta primeira aplicação.

Por fim, realçaram-se os pontos fortes e fracos deste modelo, prevendo-se aquilo que ainda seria necessário evoluir a fim de melhorá-lo e com o intuito de o colocar como uma ferramenta válida e interessante para as Administrações de qualquer aeródromo que pretenda implementar ou aprimorar o seu Sistema de Gestão de Pavimentos.

4.4.2 Divisão da Área de Pavimento a Analisar

Para a aplicação do modelo ao Caso de Estudo procedeu-se à divisão da área a analisar, no caso, a placa de estacionamento e manutenção Alfa, do Aeródromo Municipal de Cascais.

Para melhor se poder compreender o seccionamento a realizar na plataforma, foram recolhidos os dados disponibilizados não só no estudo supracitado do LNEC (FONTUL, 2007), mas também a informação disponibilizada no AIP (Aeronautical Information Publication) (NAV, 2009), que inclui, entre outros, a descrição dos pavimentos, designadamente, da capacidade estrutural. Essa informação está condensada na Tabela 4.6.

Tabela 4.6 Características da placa de estacionamento Alfa do AMC, extraída de (NAV, 2009)

Placa de estacionamento	A - Alfa
Designação/Capacidade estrutural	PCN 03/F/C/W/T
Tipo de pavimento	Flexível (ASPH)
Área total	2540 m ²
Ano de construção	1977
Altitude	101 m
Utilização	Parqueamento e Manutenção de aeronaves ligeiras de instrução e treino

Na posse destes dados e da planta do aeródromo, em formato digital, foi possível elaborar a divisão da zona correspondente à placa de estacionamento Alfa, seguindo os procedimentos definidos anteriormente. A divisão do pavimento, materializada na Grelha D, está, para o caso em estudo, apresentada em anexo (Anexo I.1).

Foram desta forma obtidas 42 secções numeradas, e 3 pequenas fracções integradas nas secções imediatamente anteriores, ou seja, nas secções nº 37, 44 e 51 (Vide Anexo I.1).

Como para a divisão do pavimento desta plataforma em áreas de 100 m² (malha quadrada de 10 m x 10 m, na direcção segundo a maior dimensão em planta) resultava um número de secções inferior a 10, elas foram numeradas de 00 a 09, de modo a que o primeiro algarismo corresponda à linha e o segundo à coluna da Grelha D (Figura 4.3). Caso a dimensão fosse superior, podia-se optar por uma numeração igualmente representativa, numerando de 000 a 099 a primeira linha da matriz, e assim sucessivamente.

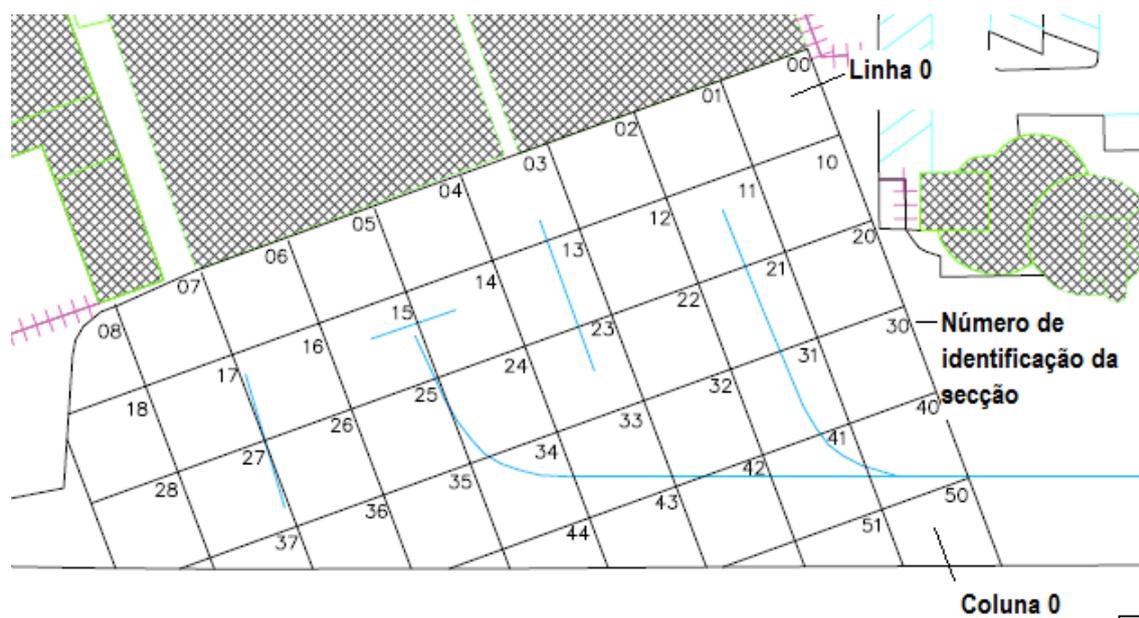


Figura 4.3 Grelha D para o Caso de Estudo

4.4.3 Avaliação Subjectiva Directa da Condição do Pavimento

Estando concluída a fase de divisão da área de pavimento a analisar numa grelha (Grelha D), como descrito anteriormente, prosseguiu-se com a inspecção ao local a fim de avaliar a condição do pavimento, introduzindo um procedimento de avaliação específico e inovador.

Para que o modelo que se apresenta possa aproximar-se dos objectivos a que se propôs, desde cedo se tornou claro que se devia apostar na integração de valências, esmiuçando racionalmente todas as valências indispensáveis à sua boa concretização. Materializou-se no aproveitamento das capacidades do inspector (idealmente com experiência na área de pavimentos), juntamente com as reconhecidas capacidades dos modelos matemáticos, na produção de valores objectivos.

O modelo matemático procurado foi simplificado ao máximo, com a finalidade de o tornar mais empírico e expedito.

Pretendeu-se, com a integração de uma componente assumidamente subjectiva, o enriquecimento dos resultados obtidos no modelo do Índice de Manifestação de Degradação (DMI) proposto, que possui invariavelmente lacunas devido à sua simplicidade. No final, ambas as componentes, modelo objectivo (DMI) e Avaliação Subjectiva Directa, têm um peso importante.

A Avaliação Subjectiva Directa da Condição do Pavimento foi efectuada percorrendo a pé todas as secções do pavimento, por ordem crescente do seu número de identificação (Figura 4.3). Durante a avaliação, o avaliador, tendo em conta a sua experiência, mas também a realidade do aeródromo, classificou cada secção, individualmente, numa escala de 1 a 5, como descrito na Tabela 3.5, preenchendo assim a Matriz S (Anexo II.1) (Figura 4.4).

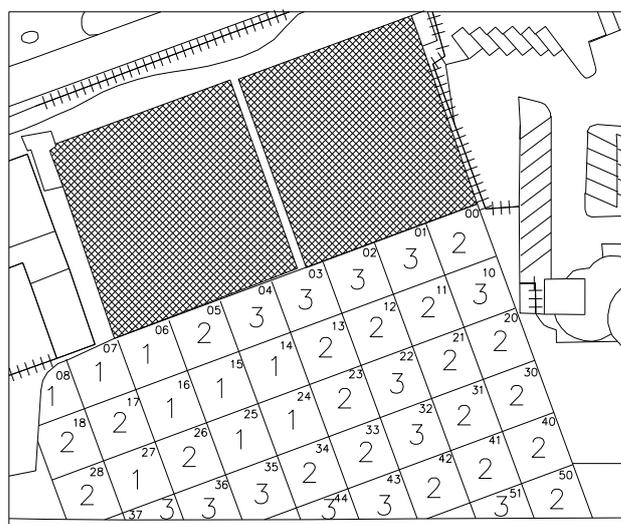


Figura 4.4 Matriz S

Eventualmente, numa segunda avaliação realizada pelo mesmo avaliador posteriormente podem resultar classificações diferentes para as secções do pavimento. É assumido como verdade que essas discrepâncias possam acontecer. Nessa situação, assume-se que o número de secções onde se verifique uma diferença na classificação é inferior a 10% e que ocorre com a distância de um único nível.

Por outro lado, pode-se afirmar que a classificação depende do avaliador, ou seja, para lá de ser assumidamente subjectiva, perderá validade a partir do momento em que outro avaliador fizer uma classificação onde mais de 10% das secções sejam classificadas com níveis distintos.

Para mitigar estas discrepâncias, contribui não só a experiência do avaliador, mas essencialmente o conhecimento integral da realidade do aeródromo, e da zona sob avaliação em particular. É fundamental uma investigação prévia às características físicas do aeródromo e à sua realidade, incluindo nesta, as actividades a que as diferentes zonas estão sujeitas (quantidade e tipo de tráfego).

Se o conhecimento do aeródromo e da utilização das diferentes zonas (diferentes caminhos de circulação, placas de estacionamento ou pistas) for efectivo, torna-se mais fácil estabelecer, à partida, o que se entenderá como o nível de desempenho médio do pavimento para cada zona. A partir desse nível, a classificação das secções será mais evidente, e a classificação feita por avaliadores diferentes mais coerente.

Por uma questão de facilidade de localização e identificação no local, das diferentes secções a classificar, sugere-se que a Grelha D seja reproduzida sobre a planta do aeródromo, com a marcação dos vértices das secções a giz. Desta forma, através de pontos identificáveis a partir da planta, por exemplo, das linhas de marcação de circulação ou do alinhamento com os hangares, a tarefa do avaliador fica facilitada. Pode-se transpor a divisão imaginária para o nível do pavimento da pista sem a necessidade do auxílio de equipamentos adicionais.

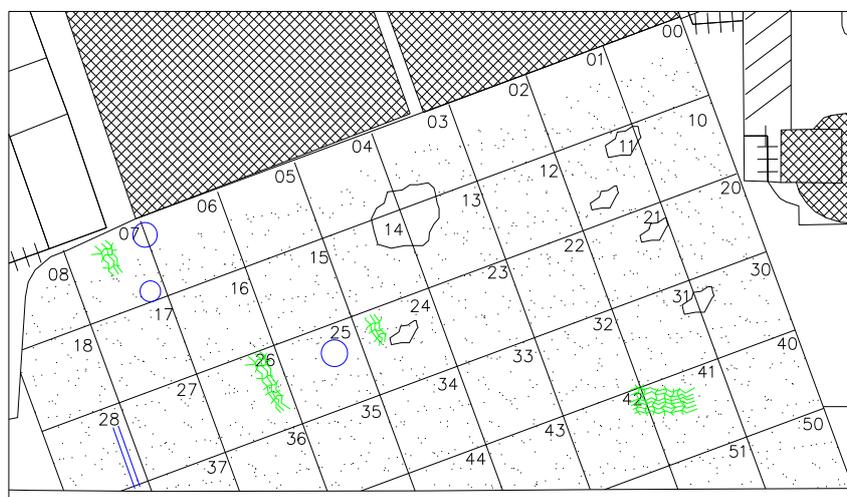


Figura 4.5 Matriz S'

Como ponto crítico, de modo a que uma anomalia localizada não possa alternar entre duas secções, anotaram-se algumas anomalias numa nova Grelha D, tal como descrito anteriormente, obtendo desta forma a Matriz S' (Figura 4.5 e Anexo II.2).

As matrizes preenchidas durante esta fase de avaliação, Matriz S e Matriz S' , na plataforma de estacionamento Alfa do Aeródromo Municipal de Cascais estão em anexo (Anexo II.1 e II.2), apresentando-se aqui, resumidamente, os resultados, na Tabela 4.7.

Tabela 4.7 Resultados da Avaliação Subjectiva Directa da Condição do Pavimento

Secção i	S_i						
00	2	12	2	24	1	36	3
01	3	13	2	25	1	37	3
02	3	14	1	26	2	40	2
03	3	15	1	27	1	41	2
04	3	16	1	28	2	42	2
05	2	17	2	30	2	43	3
06	1	18	2	31	2	44	3
07	1	20	2	32	3	50	2
08	1	21	2	33	2	51	3
10	3	22	3	34	2		
11	2	23	2	35	3		

A média para o S_i é de 2,10, colocando o pavimento numa posição de pré-ruína pela avaliação subjectiva, através da aplicação do critério definido na Tabela 3.5.

4.4.4 Avaliação do Índice de Manifestação de Fadiga (DMI)

Nesta fase da aplicação do modelo do IIAE, guarda-se a Matriz S preenchida anteriormente.

Procedeu-se à fase de levantamento das anomalias presentes, no contexto da determinação de um índice de condição, para cada secção.

A inspecção foi realizada percorrendo a pé os pavimentos sob análise, de forma contínua e por ordem crescente da numeração das secções, recorrendo sempre que necessário à consulta da Matriz S' .

À medida que se progrediu nas secções, fez-se o levantamento, na matriz de anomalias, Matriz A, de todas as anomalias presentes na superfície do pavimento, ou seja, que sejam identificadas nesta (Vide Anexo III).

O preenchimento da ficha de inspecção em causa seguiu os procedimentos definidos anteriormente, com o objectivo de tornar o levantamento sistemático e o mais objectivo possível. Este preenchimento consistiu na classificação para cada anomalia possível de encontrar em: não existente (0); existente (1); existente e mais relevante ou condicionante da avaliação da secção (2), tendo sido repetido para todas as secções identificadas do pavimento.

É nesta fase que a experiência do avaliador e o conhecimento de manuais de avaliação da gravidade de anomalias em pavimentos e, em particular, aeronáuticos, ganha grande relevância. A correcta identificação da anomalia existente, bem como a correcta avaliação do grau de gravidade, é indispensável para um resultado credível, objectivo e útil.

Um dos objectivos deste modelo prende-se com a agilização da implementação de um índice de condição de pavimentos aeronáuticos, logo, tornou-se evidente a necessidade de tentar contornar as dificuldades, muitas vezes encontradas, na aplicação dos modelos mais conhecidos e indiscutivelmente mais completos, mas também mais complexos.

Desta forma, se se olhar para o Índice de Condição do Pavimento (PCI), o mais utilizado em todo o mundo, constata-se que se por um lado, continua presente a hipótese dos avaliadores confundirem as anomalias existentes, por outro, o risco de não quantificar correctamente (densidade) as anomalias deixa de existir, e mesmo o perigo de identificação incorrecta do grau de gravidade é minimizado (VELOSO, 2001).

A incorrecta quantificação da densidade da anomalia, numa determinada secção, como o PCI exige, é uma dificuldade constante que, para além de sobrecarregar o dispositivo de equipamentos necessários e mesmo de técnicos (meios humanos), torna o processo mais moroso e por consequência mais oneroso para todos, colocando-se por vezes em questão a sua indispensabilidade.

Uma vez preenchida a Matriz A, pode-se calcular o índice de manifestação de fadiga de cada secção, arredondando às centésimas, segundo a fórmula [4].

No Caso de Estudo obteve-se a seguinte classificação nas secções (Tabela 4.8):

Tabela 4.8 Resultados do Índice de Manifestação de Fadiga

Secção i	X _i	Y _i	DMI _i	Secção i	X _i	Y _i	DMI _i
00	5	2	2,64	23	2	2	3,29
01	8	2	2,00	24	6	3	1,79
02	5	2	2,64	25	6	2	2,43
03	7	2	2,21	26	6	2	2,43
04	5	2	2,64	27	4	3	2,21
05	7	2	2,21	28	5	2	2,64
06	8	2	2,00	30	3	2	3,07
07	6	3	1,79	31	8	2	2,00
08	3	2	3,07	32	3	2	3,07
10	3	2	3,07	33	4	2	2,86
11	6	3	1,79	34	4	2	2,86
12	4	2	2,86	35	3	2	3,07
13	2	2	3,29	36	2	2	3,29
14	3	2	3,07	37	4	1	3,50
15	4	2	2,86	40	5	1	3,29
16	5	2	2,64	41	5	2	2,64
17	5	2	2,64	42	4	1	3,50
18	2	2	3,29	43	2	2	3,29
20	3	2	3,07	44	1	2	3,50
21	4	2	2,86	50	2	2	3,29
22	3	2	3,07	51	1	2	3,50

O DMI_{med} é de 2,79, obtido através da média aritmética dos valores dos DMI_i , colocando a avaliação da condição de fadiga do pavimento num nível um pouco abaixo das condições de deterioração normal, numa escala equivalente à preconizada na Tabela 3.5.

4.4.5 Avaliação da Textura do Pavimento

4.4.5.1 Introdução

Nesta fase, o objectivo é constatar de que forma a integração da componente funcional, por meio do Ensaio da Mancha de Areia, valoriza e enriquece a avaliação feita até aqui através da vertente estrutural do modelo desenvolvido neste trabalho, o Índice Integrado de Avaliação Expedita (IIAE).

Os resultados deste ensaio, executado no decorrer do trabalho de campo desta dissertação, estão apresentados e interpretados de seguida.

4.4.5.2 Ensaio da Mancha de Areia

Encaixando-se nos requisitos para a determinação da textura dos pavimentos, mais especificamente da macrotextura, encontra-se o ensaio volumétrico de avaliação da textura de um pavimento, também designado de Ensaio da Mancha de Areia.

Outra vantagem deste ensaio, para além de ser expedito, é necessitar de equipamento e material ao alcance do autor, ao contrário do que aconteceria obviamente com outros ensaios mais sofisticados.

Com esta finalidade, de apoiar o desenvolvimento de um modelo expedito de avaliação da condição de pavimentos aeronáuticos, à qual se junta, desta feita, um parâmetro objectivo de avaliação da textura superficial, foram executados 15 Ensaios de Mancha de Areia, segundo o procedimento LNEC (PROC. 51/1/3416). Não se seguiram os procedimentos preconizados nos normativos mais recentes (EN 13036-1, 2001) (ASTM E965-96, 2006) por indisponibilidade de material para a realização dos ensaios (esferas de vidro).

A localização para a realização dos ensaios seguiu o plano de ensaios, apresentado em anexo (Anexo IV), sem nenhuma relação directa com o modelo apresentado e aplicado. Eles foram planeados e efectuados antes da definição de todo este novo modelo. Em alguns casos, foram realizados em pontos muito específicos, o que não permite a utilização dos seus resultados neste método. Contudo, a sua realização veio a verificar-se importante e enriquecedora, e o seu contributo para o cálculo do IIAE já foi abordado anteriormente.

Dos ensaios realizados, 3 localizaram-se na pista, perto do topo 35, e os restantes na plataforma de estacionamento e manutenção Alfa, segundo o mapa de ensaios apresentado no anexo (Anexo V.1 e V.2).

Os 3 primeiros ensaios efectuados na pista têm como objectivo a calibração do ensaio, para aquilo que se considera como o pavimento com condições de utilização claramente distintas e conhecidas: 1) ponto de toque da pista 35 com evidente deposição de borracha; 2) eixo da pista, perto do ponto de toque da pista 35 mas sem deposição visível de borracha (utilização significativa ao longo dos anos de serviço); 3) ponto a 7m da berma, sujeito a tráfego intenso devido à configuração do trem de aterragem das aeronaves que utilizam o aeródromo.

Os resultados destes e dos outros ensaios são apresentados em anexo (Anexo VI), com fichas individuais de ensaio.

A correspondência entre os ensaios realizados e que se podem aproveitar, pela sua localização e por respeitarem integralmente os procedimentos normativos, pode-se

constatar na Tabela 4.9 e na Figura 4.6, juntamente com os resultados obtidos e correspondente classificação.

Tabela 4.9 Resultados dos ensaios da Mancha de Areia utilizados na determinação do IIAE

Ensaio nº	Secção i	H _s (mm)	M _i
5	10	2,3964	2
6	21	3,9298	1
7	17	1,8548	3
8	24	1,1112	4
10	31	3,3143	1
11	02	1,5140	4
12	44	1,5404	4
13	33	1,8835	3
14	41	1,6357	3
15	40	1,0574	4

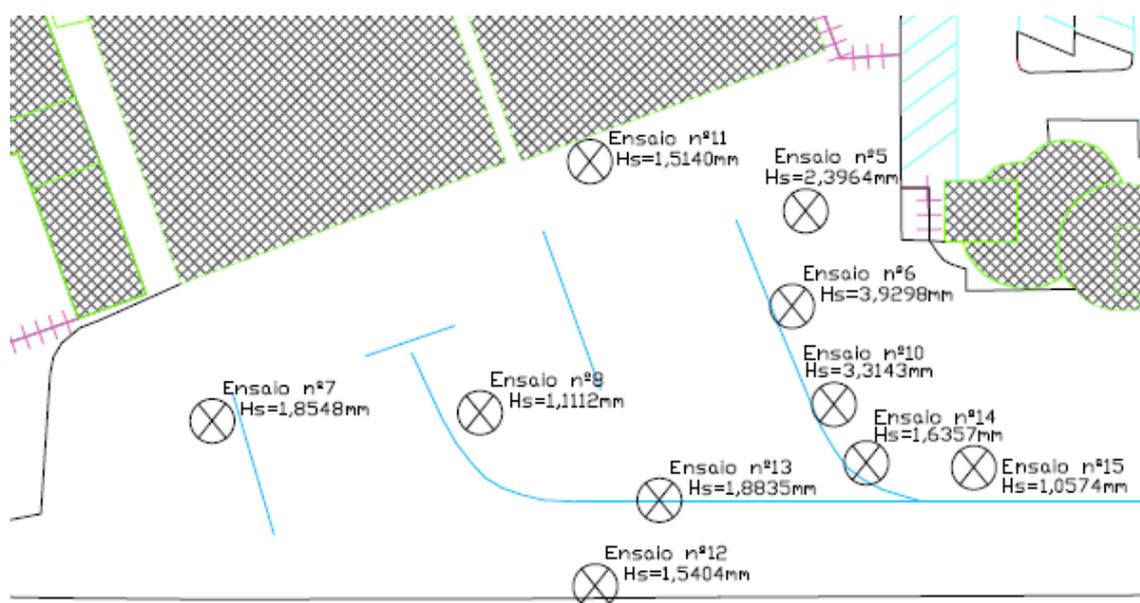


Figura 4.6 Mapa de ensaios da Mancha de Areia utilizados no modelo do IIAE

4.4.6 Determinação do IIAE de cada secção e da Placa de Estacionamento Alfa do AMC

Os valores do Índice Integrado de Avaliação Expedita de cada secção analisada são apresentados na Tabela 4.10 e em anexo (Anexo VII).

Tabela 4.10 Resultados do IIAE de cada secção

Secção i	IIAE _i						
00	2,26	12	2,34	24	1,31	36	3,11
01	2,60	13	2,51	25	1,57	37	3,20
02	2,86	14	1,83	26	2,17	40	2,51
03	2,69	15	1,74	27	1,49	41	2,26
04	2,86	16	1,66	28	2,26	42	2,60
05	2,09	17	2,26	30	2,43	43	3,11
06	1,40	18	2,51	31	2,00	44	3,20
07	1,31	20	2,43	32	3,03	50	2,51
08	1,83	21	2,34	33	2,34	51	3,20
10	3,03	22	3,03	34	2,34		
11	1,91	23	2,51	35	3,03		

Vistos os valores de cada secção, resta apenas apurar o valor global do IIAE para a Zona, fazendo a média dos IIAE_i segundo a equação [7]: **IIAE = 2**

Um valor para o Índice Integrado de Avaliação Expedita igual a 2 significa que o pavimento da placa de estacionamento Alfa do AMC se encontra com um desempenho fraco e que o planeamento da intervenção a realizar já deveria estar em curso.

Para concluir esta vertente estrutural do modelo do IIAE, resta apenas calcular o índice, mas com o contributo da avaliação da macrotextura superficial, concretizada com os ensaios da mancha de areia (Tabela 4.11).

Tabela 4.11 Resultados do IIAE com integração da macrotextura

Secção i	IIAE _{i,T}						
00	2,26	12	2,34	24	2,66	36	3,11
01	2,60	13	2,51	25	1,57	37	3,20
02	3,43	14	1,83	26	2,17	40	3,26
03	2,69	15	1,74	27	1,49	41	2,63
04	2,86	16	1,66	28	2,26	42	2,60
05	2,09	17	2,63	30	2,43	43	3,11
06	1,40	18	2,51	31	1,50	44	3,60
07	1,31	20	2,43	32	3,03	50	2,51
08	1,83	21	1,67	33	2,67	51	3,20
10	2,51	22	3,03	34	2,34		
11	1,91	23	2,51	35	3,03		

Apesar do IIAE_T se manter inalterado, igual a 2, é de notar que a influência da avaliação da macrotextura, tal como foi sugerida, permitiu a subida de dois níveis no IIAE_{i,T} a uma secção (10%) (sombreada a azul), aumentou um nível a 40% das secções avaliadas (sombreadas a verde) e manteve a classificação a 50% (sombreadas a amarelo).

4.5 Síntese

Uma vez apresentado o Caso de Estudo deste trabalho – o Aeródromo Municipal de Cascais – e realizado o seu enquadramento na envolvente mais próxima e na região, descreveu-se a sua evolução e condições actuais, com especial atenção aos seus pavimentos, julgando-se importante referir algumas características da constituição dos solos de fundação e dos pavimentos existentes, para melhor se perceber a adequabilidade do Caso de Estudo ao modelo proposto. Foi exactamente numa das placas de estacionamento, na placa Alfa, que se efectuou a primeira aplicação do modelo proposto e desenvolvido nesta dissertação.

Depois de realizada a primeira aplicação prática do Índice Integrado de Avaliação Expedita, é importante realizar uma primeira crítica aos resultados obtidos e à prestação do método.

Da avaliação subjectiva realizada à Plataforma de Estacionamento Alfa do AMC resulta um índice de $S_{med} = 2,10$ que coloca o pavimento num estado de pré-ruína, enquanto da avaliação objectiva resulta um DMI médio de 2,79, correspondente a um nível de desempenho normal. Desta diferença entre os indicadores intermédios do modelo, talvez se possa concluir que a formulação do DMI seja moderadamente optimista. O “talvez” justifica-se com o facto de não se esperar obter, em todas as situações, indicadores exactamente iguais, pois poder-se-ia dessa forma dispensar uma das componentes da avaliação.

Para as secções analisadas obteve-se um valor para o IIE_i que varia entre 1,31 e 3,20. Quando integrada a componente da textura (M_i), obtém-se um intervalo de valores do $IIE_{i,T}$ entre 1,31 e 3,60, segundo a distribuição da Figura 4.7.

Apesar do resultado final para o IIAE da zona se ter mantido inalterado, no nível 2, notou-se uma melhoria com a introdução dos resultados dos ensaios práticos à macrotextura do pavimento, como se pode observar na Figura 4.7.

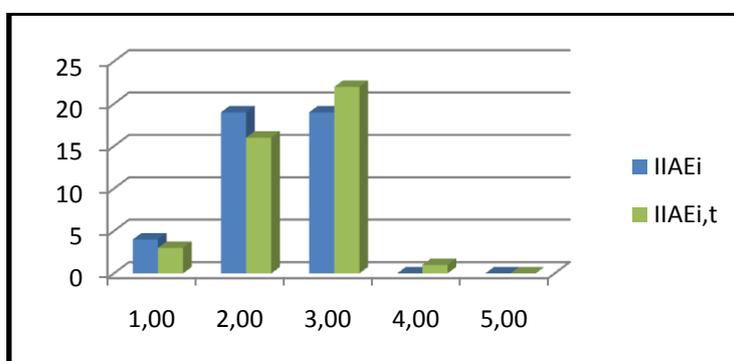


Figura 4.7 Distribuição dos resultados do IIAE

Posto isto, em complemento à indicação da condição da superfície do pavimento é possível fazer corresponder, empiricamente, uma escala com as recomendações de intervenções necessárias em função do resultado. Esta característica do sistema de classificação agiliza e aumenta o valor desta ferramenta, como componente de um programa de manutenção de um pavimento aeronáutico.

- IIAE = 5: Não necessita qualquer intervenção;
- IIAE = 4: Intervenções de manutenção muito localizadas;
- IIAE = 3: Intervenções de manutenção e preservação em áreas significativas;
- **IIAE = 2: Intervenções de reabilitação estrutural e/ou de tratamento generalizado da superfície;**
- IIAE = 1: Reconstrução da estrutura do pavimento.

Conclui-se que o pavimento da placa de estacionamento Alfa do AMC apresenta uma condição de desempenho fraco, em estado de pré-ruína, com necessidade urgente de intervenções de reabilitação estrutural e de tratamento da generalidade da superfície, apesar dos ensaios da mancha de areia terem um contributo positivo (não penalizante) na avaliação da condição do pavimento.

Resta ainda salientar que, devido ao estado inicial de desenvolvimento deste modelo de avaliação, é necessário verificar para mais aplicações práticas os resultados obtidos, cruzando-os de preferência com resultados obtidos através de outro índice, como o PCI, na mesma área de pavimento, para validação final.

Com o ganho de experiência ao longo do tempo e com as aplicações futuras deste modelo pode-se aferir a necessidade de corrigir e/ou introduzir factores de correcção no cálculo do IIAE, como o factor d_k , apresentado na Tabela 3.11, ou uma correcção em função dos anos de experiência do avaliador.

Por fim, para melhor poderem executar as futuras aplicações do modelo do IIAE, apresenta-se no capítulo seguinte um manual de apoio à identificação e classificação das anomalias.

5 Manual de Avaliação da Condição de Pavimentos Aeronáuticos proposto pelo signatário

5.1 Introdução

Este manual foi elaborado para servir de base à Avaliação da Condição de Pavimentos Aeronáuticos e, em particular, à implementação do modelo proposto pelo signatário, o Índice Integrado de Avaliação Expedita (IIAE).

Este pequeno manual ilustrativo da presença e severidade das anomalias possíveis de encontrar num pavimento aeronáutico flexível, foi elaborado pelo autor com o intuito fundamental de auxiliar qualquer técnico no processo de identificação da anomalia detectada, bem como na classificação objectiva da sua severidade, dito por outras palavras, pretendeu-se estabelecer um manual de apoio de campo, para avaliação de pavimentos aeronáuticos.

O desenvolvimento deste manual decorreu do modelo proposto neste trabalho. Distinguem-se, neste manual, as situações da simples presença da anomalia e da presença e condicionamento da avaliação da secção onde ela se encontrar. Colocam-se, desta forma, as anomalias segundo uma hierarquização caso a caso.

Existindo já manuais desenvolvidos e aceites internacionalmente para a determinação de índices, como o Índice de Condição de Pavimento (PCI), será apresentado o paralelismo com essa escala, de três níveis de gravidade: Baixa, Média e Alta (VELOSO, 2001), sempre que possível.

À semelhança do utilizado no detalhado modelo do PCI, o sistema de classificação aqui introduzido pretende ser uma fonte de informação para a classificação de pavimentos no âmbito do programa de segurança e gestão dos aeródromos. Não tem, no entanto, como intenção, fornecer directamente informação sobre a necessidade ou o estabelecimento de programação de intervenções de manutenção ou reabilitação de pavimentos.

A peculiaridade do modelo de classificação proposto (Índice Integrado de Avaliação Expedita) prende-se com o facto de não se classificar a severidade de cada anomalia separadamente. Elas são comparadas com as outras identificadas na mesma secção, seguindo os procedimentos e restrições definidos anteriormente.

Para a identificação e a classificação das anomalias nos pavimentos aeronáuticos, este manual sugere a confrontação entre as imagens apresentadas como exemplos e a inspecção visual no local.

Com o objectivo de contribuir para o desenvolvimento de um índice de condição de pavimentos e, por consequência, melhorar o desempenho dos sistemas de gestão dos aeródromos, julga-se importante estabelecer as ligações possíveis entre as anomalias detectadas e as suas causas. O conhecimento das causas prováveis do estado actual de deterioração parece ser um dado relevante na definição posterior do tipo de manutenção ou reabilitação a implementar (U. S. Department of Transportation, 2004).

A deterioração dos pavimentos que conduz ao surgimento das anomalias tem, no geral, três causas:

- Ambientais – devido às acções climatéricas e envelhecimento ao longo do tempo;
- Estruturais – devido à repetição de solicitações de cargas do tráfego;
- Utilização – devido ao derrame de químicos (combustíveis, óleos e outros solventes), acções mecânicas e ainda devido ao efeito dos jactos. A pequena susceptibilidade dos pavimentos rígidos às acções típicas decorrentes da utilização destes, no contexto aeronáutico, permite desprezar esta causa para este tipo de pavimentos.

Torna-se óbvio que a generalidade dos pavimentos se deteriora em resultado da acção conjunta destas três causas. No entanto, para que se possa definir a acção de manutenção e reabilitação mais adequada, é importante tentar distingui-las (U. S. Department of Transportation, 2004).

O ritmo a que um pavimento se degrada depende de vários factores, como sejam as condições ambientais, o tipo e o volume de tráfego, a qualidade da construção original, o tipo de manutenção periódica efectuada, entre outros. Mas, indiscutivelmente, esse ritmo está relacionado, numa proporcionalidade inversa, com o nível de desempenho prestado pelo pavimento.

Por isso, reconhecer as anomalias apresentadas e perceber as suas prováveis causas, ajuda a estabelecer um índice de condição credível e seleccionar as intervenções mais eficientes economicamente. As anomalias que se apresentam posteriormente procuram ser uma contribuição nesse sentido.

5.2 Anomalias em Pavimentos Flexíveis

No presente manual identificam-se cinco categorias de anomalias comumente encontradas em pavimentos flexíveis:

- Defeitos de Textura (I);

- Deformação da Superfície (II);
- Fendilhamento (III);
- Remendos e Buracos (IV);
- Agressões Químicas e Mecânicas (V).

Estas categorias de anomalias subdividem-se em 18 tipos de anomalias, segundo a Tabela 5.1, proposta pelo signatário, que resulta do cruzamento entre fontes bibliográficas (U. S. Department of Transportation, 2004) e a experiência adquirida no Caso de Estudo.

Tabela 5.1 Tipos e codificação das anomalias, adaptado de (U. S. Department of Transportation, 2004)

Categoria de Anomalia	Código	Tipo de Anomalia
Defeitos de Textura	A.I.1	Desagregação Superficial
	A.I.2	Exsudação
	A.I.3	Polimento de Agregados
	A.I.4	Erosão de Jacto
Deformação da Superfície	A.II.1	Rodeiras
	A.II.2	Ondulações
	A.II.3	Depressões
	A.II.4	Empolamentos
Fendilhamento	A.III.1	Térmica
	A.III.2	De Reflexão
	A.III.3	De Escorregamento Lateral
	A.III.4	De Juntas e Bordas
	A.III.5	Cruzadas
	A.III.6	De Pele de Crocodilo ou Fadiga
Remendos e Buracos	A.IV.1	Remendos e Cortes Técnicos
	A.IV.2	Buracos
Agressões Químicas e Mecânicas	A.V.1	Derrame de Combustíveis, Óleos e outros solventes
	A.V.2	Rasgo ou Depressão de Impacto

Apresentam-se seguidamente estas 18 anomalias individualmente, recorrendo, sempre que possível, às imagens captadas destas no Caso de Estudo do Aeródromo Municipal de Cascais.

5.2.1 Defeitos de Textura

5.2.1.1 Desagregação superficial

A desagregação (Raveling) de um pavimento é o resultado da perda dos elementos voláteis do betume e devido à acção do tráfego, que conduzem a que os agregados do pavimento se soltem, desalojando-se das posições iniciais.

Identificação: A superfície do pavimento apresenta os agregados em relevo, soltos ou em vias de se soltarem sob a acção do tráfego.

Causas: O envelhecimento do pavimento, juntamente com a perda de componentes voláteis do betume, conduz ao aumento da rigidez da mistura e à falta do material aglutinante.



Figura 5.1 Desagregação superficial (nível 1)



Figura 5.2 Desagregação superficial (nível 2)

Figura	Nível segundo IIAE	Observações	Nível segundo PCI (VELOSO, 2001)
Figura 5.1	1	Anomalia presente, passível de ascender a nível 2 caso não se verifique mais nenhuma anomalia.	B e M
Figura 5.2	2	Anomalia claramente condicionante da avaliação.	A

5.2.1.2 Exsudação

A exsudação (Flushing) caracteriza-se pela concentração superficial, geralmente localizada, de uma película de betume.

Identificação: Mancha escura, possivelmente pegajosa e brilhante, de betume à superfície.

Causas: Mistura com defeitos na homogeneização que leva a acumulação de betume à superfície, normalmente acompanhando temperaturas mais elevadas.

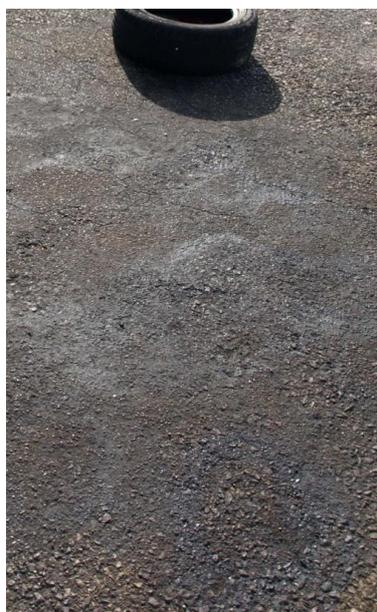


Figura 5.3 Exsudação extensa (nível 2)

Figura	Nível segundo IIAE	Observações	Nível segundo PCI (VELOSO, 2001)
	1	Exsudação presente, mas numa pequena percentagem da área da secção, que apresenta outras anomalias.	Não define níveis
Figura 5.3	2	Exsudação numa área significativa ou única anomalia existente na secção.	

5.2.1.3 Polimento dos Agregados

O polimento dos agregados (Polishing) dá-se com a utilização do pavimento ao longo do tempo e depende fortemente do tipo de material utilizado como agregado, aumentando com a menor dureza deste.

Identificação: Textura macia ao toque com os agregados, em relevo ou não, a apresentarem um polimento da sua superfície.

Causas: Baixa qualidade dos agregados e/ou utilização intensiva. Característico de um pavimento sem manutenção atempada.



Figura 5.4 Polimento como uma anomalia entre outras mais gravosas



Figura 5.5 Polimento de agregados como anomalia evidente, ainda que seja acompanhada de desagregação da superfície numa fase inicial

Figura	Nível segundo IIAE	Observações	Nível segundo PCI (VELOSO, 2001)
Figura 5.4	1	Polimento de agregados numa área extensa, mas acompanhado de outras anomalias mais gravosas.	Não define níveis
Figura 5.5	2	Polimento de agregados como única anomalia gravosa numa extensa área da secção.	

5.2.1.4 Erosão de Jacto

Anomalia muito específica, caracterizada pela carbonização da superfície do pavimento quando atingida pelas altas temperatura de um reactor a jacto, muito próximo.

Identificação: Mancha escurecida e queimada do pavimento, com forma semelhante a gota de água.

Causas: Demasiada proximidade a um rector de uma aeronave a jacto e às altas temperaturas dele emanadas. Muito característico de pavimentos onde operem essencialmente aeronaves militares a jacto.

Figura	Nível segundo IIAE	Observações	Nível segundo PCI (VELOSO, 2001)
	1	Erosão de jacto existente, mas não a pior anomalia da secção.	Não define níveis
	2	Erosão importante que condiciona a classificação da secção, entre outras eventuais anomalias menos gravosas.	

5.2.2 Deformação da Superfície

5.2.2.1 Rodeiras

As rodeiras (Rutting) são a impressão no pavimento da passagem consecutiva das rodas das aeronaves, numa determinada direcção.

Identificação: Depressão segundo o alinhamento de rolamento preferencial, com eventual elevação dos bordos.

Causas: Capacidade de suporte das camadas do pavimento e/ou da fundação insuficiente, devido à utilização de cargas que excedem a sua capacidade (aeronaves com ACN superior ao PCN) ou devido ao seu enfraquecimento ao longo do tempo. Pode ainda ocorrer devido à insuficiente compactação das camadas constituintes do pavimento.



Figura 5.6 Rodeiras com filme de água após chuvas, extraída de (U. S. Department of Transportation, 2004)

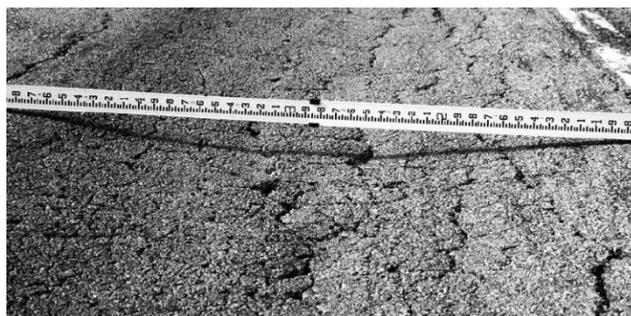


Figura 5.7 Rodeira profunda, com mais de 2cm, acompanhada de fendilhamento, extraída de (U. S. Department of Transportation, 2004)

Figura	Nível segundo IIAE	Observações	Nível segundo PCI (VELOSO, 2001)
Figura 5.6	1	Rodeira pouco profunda, que geralmente só é claramente perceptível após chuvas, com acumulação de pequenos filmes de água.	B e M
Figura 5.7	2	Rodeira profunda, com mais de 2cm, que condiciona a classificação da secção.	A

5.2.2.2 Ondulações

As ondulações (Distortion) são deformações da superfície do pavimento de forma sucessiva, alternando entre elevações e depressões.

Identificação: Depressões sucessivas segundo um perfil, geralmente longitudinal, do pavimento.

Causas: Enfraquecimento da capacidade de suporte do solo de fundação, influenciada com a acção da carga e da direcção do tráfego.



Figura 5.8 Ondulações significativas da superfície do pavimento, extraída de (U. S. Department of Transportation, 2004)

Figura	Nível segundo IIAE	Observações	Nível segundo PCI (VELOSO, 2001)
	1	Ondulações de pequena amplitude (inferior a 2 cm) que não condicionam a classificação da secção por existirem outras anomalias mais gravosas.	B e M
Figura 5.8	2	Ondulações profundas, com mais de 2 cm de amplitude, que condicionam o desempenho do pavimento da secção.	A

5.2.2.3 Depressões

As depressões (Settling) são o que o próprio nome indica, abatimentos localizados da superfície do pavimento provocados pelas cargas impostas pelas aeronaves, por vezes estacionadas.

Identificação: Depressões isoladas, que facilmente acumulam água, e que geralmente são acompanhadas de denso fendilhamento.

Causas: Insuficiente compactação das camadas de pavimento, incluindo do próprio solo de fundação, durante a construção.



Figura 5.9 Depressão com profundidade inferior a 1,5cm, numa secção com outras anomalias importantes



Figura 5.10 Depressão significativa, numa secção com outra anomalia também evidente (Desagregação da superfície)

Figura	Nível segundo IIAE	Observações	Nível segundo PCI (VELOSO, 2001)
Figura 5.9	1	Depressão pouco profunda (< 1,5cm), com outras anomalias presentes.	B
Figura 5.10	2	Depressão com extensão e profundidade perigosa para a manobra das aeronaves, ou única anomalia da secção.	M e A

5.2.2.4 Empolamentos

Um empolamento (Frost Heave) é uma elevação mais ou menos localizada, devido a características particulares do índice de vazios das camadas do pavimento ou do solo de fundação.

Identificação: Elevação da superfície do pavimento, sem depressão contígua, localizada ou segundo uma direcção preferencial.

Causas: Solo de fundação com características expansivas na presença da água ou durante os ciclos gelo/degelo.



Figura 5.11 Empolamento com mais de 2cm de altura, extraída de (U. S. Department of Transportation, 2004)

Figura	Nível segundo IIAE	Observações	Nível segundo PCI (VELOSO, 2001)
	1	Empolamentos de pequena altura ou acompanhados de anomalias bem mais gravosas para a secção.	B
Figura 5.11	2	Empolamentos com mais de 2cm de altura, condicionantes da avaliação da secção.	M e A

5.2.3 Fendilhamento

5.2.3.1 Fendilhamento Térmica

As fendas térmicas (Thermal Cracks), com a idade, tendem a adensar-se, caracterizando-se por serem direccionais e regularmente espaçadas.

Identificação: Fendas na superfície do pavimento, com forte direccionalidade e geralmente, periodicamente espaçadas.

Causas: Devido à retracção do betão betuminoso, com a idade, e devido aos efeitos de variação térmica. Diferentes comportamentos térmicos devido a pinturas ou materiais selantes podem também originar fendas térmicas.

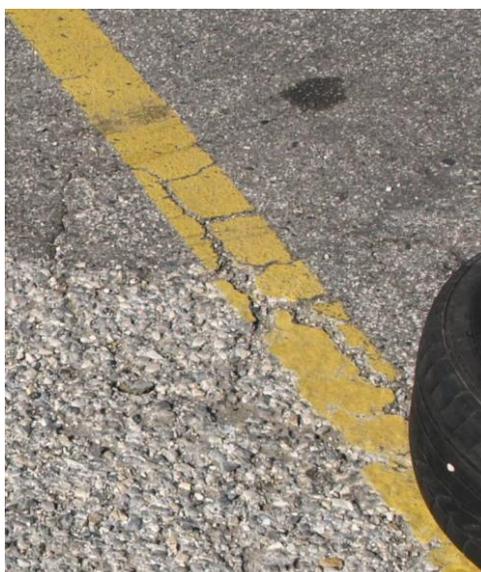


Figura 5.12 Fendas térmicas numa secção com outras anomalias mais gravosas

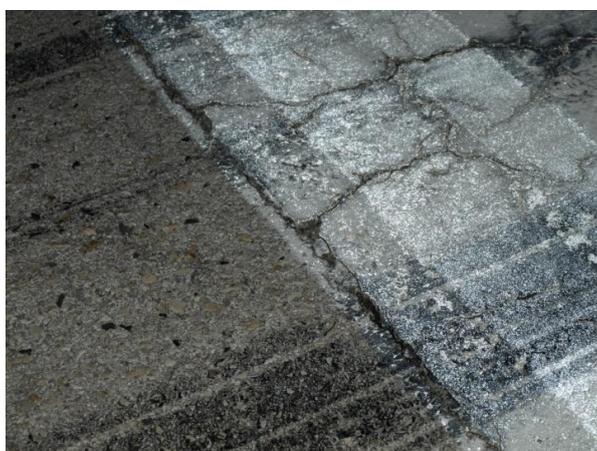


Figura 5.13 Fendas térmicas como anomalia preponderante na secção

Figura	Nível segundo IIAE	Observações	Nível segundo PCI (VELOSO, 2001)
Figura 5.12	1	Fendas térmicas juntamente com anomalias mais evidentes e gravosas.	B
Figura 5.13	2	Fendas térmicas como anomalia dominante na secção.	M e A

5.2.3.2 Fendas de Reflexão

As fendas de reflexão (Reflection Cracks) são o resultado da reflexão, à superfície, do fendilhamento nas camadas de pavimento inferiores. Nos casos onde existe um pavimento rígido por baixo, surgem fendas ortogonais e originadas pelos esforços de corte, devido ao tráfego e aos efeitos das variações térmicas nas lajes de betão de cimento.

Identificação: Fendas de qualquer dimensão, ortogonais nos casos em que existe um pavimento rígido por baixo, e que traduzem um estado de tensão elevado sem que haja deformação significativa da superfície.

Causas: Dilatações térmicas das camadas de pavimento inferiores e tensões de corte provocadas pelo tráfego sobre as lajes de betão de cimento.



Figura 5.14 Fenda de reflexão do fim do pavimento inferior



Figura 5.15 Fendas de reflexão do pavimento inferior, extraída de (U. S. Department of Transportation, 2004)

Figura	Nível segundo IIAE	Observações	Nível segundo PCI (VELOSO, 2001)
Figura 5.14	1	Fendas de reflexão existentes mas sem importância no desempenho do pavimento da secção.	B
Figura 5.15	2	Fendas de reflexão abertas (largura superior a 0,5cm) ou com deficiente selagem, condicionantes da avaliação da secção	M e A

5.2.3.3 Fendas de Escorregamento Lateral

As fendas devido a escorregamento lateral (Slippage Cracks), também denominadas de fendas em meia-lua, devido à sua forma geométrica característica, resultam do escorregamento diferencial entre duas camadas do pavimento.

Identificação: Fendas densamente agrupadas e em forma semi-circular, deixando ver, quando num estado avançado de deterioração do pavimento, as camadas inferiores em condições de fendilhamento diferente. Estão associadas às tensões impostas pelas rodas das aeronaves, especialmente a de nariz e, por isso, estão localizadas, em geral, no eixo dos pavimentos.

Causas: Insuficiente aderência entre as camadas do pavimento. Carga excessiva nas rodas de nariz, nas zonas de travagem.



Figura 5.16 Fendas de escorregamento lateral, com forte desagregação, extraída de (U. S. Department of Transportation, 2004)

Figura	Nível segundo IIAE	Observações	Nível segundo PCI (VELOSO, 2001)
	1	Fendas de escorregamento muito finas e acompanhadas de anomalias mais gravosas.	Não define níveis
Figura 5.16	2	Fendas de escorregamento lateral muito densas e com desagregação superficial significativa.	

5.2.3.4 Fendas em Juntas e nas Bordas do Pavimento

As fendas em juntas (Paving joint cracks) e nas bordas (Edge cracks) tendem a aumentar significativamente com o tempo e estão muito associadas aos procedimentos de construção.

Identificação: Verificar a eventual abertura de fendas ao longo das juntas do pavimento, geralmente espaçadas da largura da mesa espalhadora utilizada na construção, e de fendas divergentes destas, mas com desenvolvimento na vizinhança das juntas.

Causas: Deficiente processo de matar a junta durante a construção do pavimento e/ou insuficiente compactação das camadas do pavimento.



Figura 5.17 Junta de pavimento com fenda aberta apesar da existência de anomalias mais gravosas (nível 1)



Figura 5.18 Fendas e deterioração avançada na junta do pavimento (nível 2)

Figura	Nível segundo IIAE	Observações	Nível segundo PCI (VELOSO, 2001)
Figura 5.17	1	Existência de fenda na junta do pavimento ou na borda deste, com largura média inferior a 0,5mm, acompanhada de outras anomalias	Tipo não contemplado
Figura 5.18	2	Fendas de largura média superior a 0,5mm, com eventual degradação contígua à junta do pavimento.	

5.2.3.5 Fendas Cruzadas

As fendas cruzadas (Block cracks) são caracterizadas com uma geometria muito própria, formando quadriláteros contíguos, e muito influenciadas pelos fenómenos do betão betuminoso ficar mais rígido e contrair com a idade.

Identificação: Fendas que se interconectam, na sua maioria, aproximadamente, em ângulos rectos, formando quadriláteros contíguos que podem ter várias dimensões, de 20cm a 3m de lado.

Causas: Fundamentalmente, devido ao envelhecimento e à exposição ao sol, com o betão betuminoso a tornar-se mais rígido, perdendo componentes voláteis e contraindo (diminuindo de volume).



Figura 5.19 Fendas cruzadas numa secção com outras anomalias mais gravosas (rodeiras e derrame de óleos)



Figura 5.20 Fendas cruzadas formando blocos e abertas, permitindo a entrada de água, extraída de (U. S. Department of Transportation, 2004)

Figura	Nível segundo IIAE	Observações	Nível segundo PCI (VELOSO, 2001)
Figura 5.19	1	Fendas cruzadas presentes mas não preponderantes na avaliação da secção.	B
Figura 5.20	2	Fendas cruzadas de largura superior a 1mm ou única anomalia presente.	M e A

5.2.3.6 Fendas Pele de Crocodilo

As fendas pele de crocodilo ou de fadiga (Alligator cracks ou Crocodile Skin) formam padrões como o próprio nome indica, semelhantes à pele de um crocodilo, e se devem à fadiga devido ao tráfego. É normal estarem acompanhadas de deformação da superfície (depressão).

Identificação: Fendas interconectadas que formam pedaços com dimensões que podem variar de 2 a 15cm, aproximadamente, e geralmente acompanhadas de depressões no pavimento.

Causas: Ruptura do pavimento devido à fadiga acumulada das cargas do tráfego, associada à insuficiente capacidade de suporte do solo de fundação ou da camada de base.



Figura 5.21 Pele de crocodilo existente mas numa área diminuta, com outras anomalias mais gravosas na secção



Figura 5.22 Pele de crocodilo extensa e claramente condicionante da classificação da secção (nível 2)

Figura	Nível segundo IIAE	Observações	Nível segundo PCI (VELOSO, 2001)
Figura 5.21	1	Fendas em pele de crocodilo presentes mas numa área pequena, existindo outras anomalias mais evidentes na secção.	B e M
Figura 5.22	2	Fendas abertas e ramificadas, ou única anomalia na secção.	A

5.2.4 Remendos e Buracos

5.2.4.1 Remendos

Os remendos (Patches) e cortes técnicos são resultado de intervenções passadas com finalidade de resolução de uma anomalia do pavimento ou com fins técnicos.

Identificação: Diferente tonalidade e/ou mistura betuminosa, acompanhada de qualquer tipo de outra anomalia (fendas, abatimento, distorções, entre outras), desde que circunscrita a essa área de intervenção posterior à construção.

Causas: Mistura betuminosa de deficientes características ou mal compactada, indicando que, por vezes, as causas originais para a intervenção tomada se mantêm.



Figura 5.23 Junta do remendo aberta mas sem influência na classificação da secção (nível 1)



Figura 5.24 Junta do remendo aberta e ligeiro assentamento deste (nível 2)

Figura	Nível segundo IIAE	Observações	Nível segundo PCI (VELOSO, 2001)
Figura 5.23	1	Remendo existente com ligeira abertura de fenda de junta ou numa secção com outras anomalias mais gravosas.	B e M
Figura 5.24	2	Remendo com anomalias condicionantes da classificação da secção.	A

5.2.4.2 Buracos

Obviamente conhecidos e de fácil identificação, os buracos (Pothole) podem variar significativamente na área e profundidade, e provocar danos importantes nas aeronaves.

Identificação: Falta de material da camada de desgaste ou das camadas superficiais do pavimento, com forte tendência para acumulação de água.

Causas: Inadequada capacidade resistente da camada de desgaste, fadiga e cargas actuantes do tráfego, associadas, na maioria dos casos, a deficiente drenagem superficial do pavimento.



Figura 5.25 Buraco com 2cm de profundidade, mas limitado na área, com outras anomalias na secção (nível 1 ou 2)



Figura 5.26 Buraco com 2cm de profundidade mas de área significativa e desagregação importante (nível 2)

Figura	Nível segundo IIAE	Observações	Nível segundo PCI (VELOSO, 2001)
Figura 5.25	1	Buraco de pequena profundidade e sem potencial de desagregação, acompanhado de outras anomalias mais graves na secção.	Tipo não contemplado
Figura 5.26	2	Buraco com dimensão e desagregação condicionante da classificação da secção.	

5.2.5 Agressões Químicas e Mecânicas

5.2.5.1 Derrame de Combustíveis, Óleos e outros solventes

O derrame de derivados do petróleo ou outros solventes químicos ataca fortemente a coesão do pavimento betuminoso, deteriorando-o ao longo do tempo, à medida que se pode ir infiltrando nas camadas inferiores.

Identificação: Manchas geralmente circulares de derrame de fluidos, com descoloração ou mudança da tonalidade do pavimento.

Causas: Derrame de pequenas quantidades de combustíveis, óleos e outros solvente.



Figura 5.27 Derrame de pequena quantidade de combustível ou óleo (nível 1)



Figura 5.28 Derrame significativo de óleos na secção (nível 2)

Figura	Nível segundo IIAE	Observações	Nível segundo PCI (VELOSO, 2001)
Figura 5.27	1	Derrame pequeno que não condiciona a avaliação da secção (< 20% da área).	Não define níveis
Figura 5.28	2	Derrame de quantidades significativas de combustíveis, óleos ou outros solventes na secção (>20% da área).	

5.2.5.2 Rasgo ou Depressão de Impacto

Devido a acções mecânicas de intensidade superior à capacidade do pavimento, surgem por vezes rasgos ou depressões localizadas na superfície, devido ao arrastamento ou queda de elementos metálicos, por exemplo.

Identificação: Corte (rasgo) ou depressão na superfície do pavimento, originada por um elemento claramente diferente dos pneus das aeronaves, mas não executado propositadamente para efeitos de drenagem ou de aumento de rugosidade (Figura 5.29).

Causas: Qualquer acção humana que conduza à queda ou arrastamento de elementos capazes de deformar a superfície do pavimento. Por exemplo: a aterragem de uma aeronave que perdeu uma roda; ou a queda de um elemento metálico pesado durante a manutenção de uma aeronave.



Figura 5.29 Rasgo provocado por arrastamento de elemento metálico, pouco significativo (nível 1)



Figura 5.30 Depressão provocada por impacto mecânico, com forte desagregação (nível 2)

Figura	Nível segundo IIAE	Observações	Nível segundo PCI (VELOSO, 2001)
Figura 5.29	1	Rasgo ou depressão de impacto sem desagregação e com demais anomalias gravosas.	Tipo não contemplado
Figura 5.30	2	Rasgo ou depressão de impacto que ponha em causa a classificação da secção e a operacionalidade do pavimento.	

5.3 Síntese

Após terem sido abordados os principais tipos de anomalias identificadas em pavimentos flexíveis aeronáuticos, importa salientar que estas 18 anomalias são as que concorrem quase exclusivamente para o mau desempenho funcional e estrutural dos pavimentos aeronáuticos.

As fotografias apresentadas, captadas na sua maioria pelo signatário durante a aplicação do modelo ao caso de estudo, servem para ilustrar e exemplificar a classificação da gravidade destas, especialmente no contexto do modelo proposto do IIAE, uma vez que foca a sua avaliação na comparação de gravidade com as outras anomalias da secção.

O ideal seria apresentar, conjuntamente a este, um manual para identificação e classificação de anomalias em pavimentos rígidos, mas porque assim se iria prolongar, para além dos limites estabelecidos, a dimensão deste trabalho, opta-se por deixar em aberto, para futuros desenvolvimentos deste modelo de avaliação, a sua aplicação prática e o desenvolvimento de um manual de apoio técnico às avaliações nessas situações específicas.

O sistema de classificação da gravidade das anomalias aqui exposto, comparado com os desenvolvidos para os índices de condição dos pavimentos, como é o caso do PCI, apresenta diferenças desde logo na filosofia seguida para a avaliação. Enquanto a classificação do PCI, tal como apresentada ao longo deste capítulo, não estabelece níveis de gravidade para algumas anomalias, indicando apenas a sua presença, o sistema proposto classifica todas elas. Mas por outro lado, enquanto o primeiro investe na determinação da densidade da maior parte das anomalias, o proposto (método comparativo do IIAE) apenas exige o reconhecimento da maior gravidade de umas perante outras anomalias na mesma secção. Pretende-se conseguir assim, de uma forma mais expedita e com parâmetros objectivos, uma correcta avaliação da condição do pavimento.

Apesar de inicialmente se poder estabelecer alguma confusão com o facto do sistema classificativo não ser absoluto, ou seja, não classificar sempre com o mesmo nível duas anomalias exactamente iguais em secções diferentes, crê-se que um engenheiro com experiência em pavimentos aeronáuticos não terá dificuldade em distinguir dentro das anomalias existentes, a(s) mais gravosa(s), pelo comprometimento do desempenho estrutural ou funcional do pavimento, que acarretam.

Consegue-se também, com esta característica comparativa do sistema de classificação, que surjam menos dúvidas e hesitações no momento de avaliar a gravidade de cada anomalia.

De qualquer forma, todo este modelo inovador de avaliação não pretende concorrer directamente com os índices internacionalmente aceites e inegavelmente mais robustos. Pretende, sim, assumir-se como uma alternativa credível e muito expedita, posicionando-se entre as avaliações globais da condição de um pavimento (menos objectivas) e os índices mais complexos e reconhecidos como o PCI ou o CRI.

6 Conclusões

6.1 Considerações Finais

O presente trabalho seguiu uma ordem lógica para a apresentação daquilo que se propõe ser um método de avaliação expedito da condição de um pavimento aeronáutico, o Índice Integrado de Avaliação Expedita (IIAE). Começou-se por apresentar o tema e os objectivos que conduziram a elaboração deste estudo, seguindo-se, após uma breve descrição dos elementos de um aeródromo, a apresentação do que são os modelos actuais e mais utilizados internacionalmente, que têm por finalidade a avaliação e caracterização de pavimentos aeronáuticos.

No contexto da avaliação e caracterização do desempenho de pavimentos aeronáuticos, enquadraram-se a capacidade de suporte, índices de avaliação da condição e índices de avaliação da textura e rugosidade de pavimentos.

Resumiu-se o essencial sobre os Sistemas de Gestão de Pavimentos Aeronáuticos antes de introduzir o modelo desenvolvido pelo signatário deste estudo, uma vez que este pretende ser uma ferramenta importante no estabelecimento destes modernos sistemas por parte das administrações dos aeródromos.

De seguida, procedeu-se à apresentação completa e descritiva dos procedimentos necessários à aplicação do modelo, que tem como fundamentos essenciais conciliar a integração de diferentes valências (avaliação subjectiva e objectiva; avaliação estrutural e funcional) mantendo uma simplicidade e rapidez de execução ímpares, com baixos custos associados.

Outro objectivo inicial era dar uma componente prática ao trabalho, seguindo-se a indispensável apresentação do Caso de Estudo, o Aeródromo Municipal de Cascais (AMC), onde se aplicou pela primeira e única vez o IIAE, no caso, à placa de estacionamento Alfa.

Os resultados efectivamente apurados foram reveladores de uma boa prestação do modelo apresentado, notando-se, contudo, que melhoramentos nos pesos relativos das componentes da avaliação e nos factores de correcção serão introduzidos com o ganho de experiência ao longo do tempo.

Se isto se deveu, por um lado, à aplicação numa só situação prática, a placa de estacionamento Alfa do AMC, o que permitiu a calibração da formulação matemática apenas a partir dessa área de pavimento analisado, prende-se, por outro, com a assumida inexperiência do signatário neste campo de actividade.

A classificação final da condição de desempenho do pavimento da placa de estacionamento Alfa foi de 2, correspondente a um desempenho fraco, um estado de pré-ruína. Esta classificação significa que são urgentes obras de reabilitação estrutural, apesar dos resultados dos ensaios à textura do pavimento serem regulares. Este facto traduz que apesar de possuir uma boa macrotextura, apresenta deficiências patológicas graves e generalizadas, tais como forte desagregação superficial e insuficiente capacidade de suporte, mesmo tendo em consideração o tipo de utilização a que está sujeita.

Por fim, com o objectivo de ajudar quem aplique no futuro esta filosofia de avaliação de pavimentos e com base na experiência adquirida durante a primeira aplicação desta, apresentou-se um manual ilustrativo de identificação e classificação (pelo método comparativo) das anomalias que se podem encontrar num pavimento aeronáutico flexível.

6.2 Conclusões Gerais

Julga-se que os objectivos a que o signatário se propôs foram atingidos com sucesso. O método apresentado parece ser inovador, notando potencialidades para se constituir como uma alternativa pouco dispendiosa e expedita na avaliação da condição de um pavimento aeronáutico. O presente trabalho deve ser encarado como um exemplo de avaliação desse método que se propõe.

A avaliação periódica da condição dos pavimentos é uma componente indispensável de um Sistema de Gestão de Pavimentos Aeronáuticos, dando um importante contributo no apoio à decisão e no planeamento antecipado das intervenções necessárias à manutenção da condição ideal de operacionalidade.

A importância deste estudo e a pertinência de um modelo como o apresentado, prende-se com a percepção da realidade dos aeródromos que pretendem uma gestão mais eficiente dos recursos e com a noção de que os pavimentos aeronáuticos se deterioram de formas distintas, segundo variáveis tão diferentes como a qualidade de construção, condições ambientais e de utilização. A necessidade de se monitorizar periodicamente a condição dos pavimentos surge como consequência directa.

A implementação de um sistema de gestão permite, simultaneamente, a obtenção de melhores condições de segurança e de conforto com menores gastos associados à manutenção e à reabilitação dos pavimentos (e consequentemente também das aeronaves). A médio e longo prazo, os investimentos necessários para a manutenção do desempenho dos pavimentos próximo do ideal, podem ser planeados de forma eficaz e atempada, prolongando a sua vida útil com o mínimo de custos possível.

Com este estudo, mais do que uma formulação matemática de obtenção de um valor indicativo da condição superficial de um pavimento aeronáutico, procurou-se desenvolver uma nova filosofia de avaliação e de interpretação. O estruturante desta nova forma de abordagem passa pela integração de diferentes vertentes num mesmo modelo e por um método comparativo de interpretar a gravidade das anomalias detectadas, por unidade de análise.

A formulação matemática poderá ser aprimorada com a experiência, tanto no que diz respeito ao número de aplicações como ao número de avaliadores envolvidos, mas a forma de abordagem parece ter ficado globalmente definida, com a metodologia proposta.

Três avaliações distintas, igualmente expeditas e passíveis de serem executadas por apenas um elemento avaliador (engenheiro qualificado) caracterizam a estrutura básica do modelo: Avaliação Subjectiva; Avaliação Objectiva (DMI); Avaliação do desempenho funcional (macrotextura).

Dadas as dificuldades que se julga que muitos aeródromos nacionais apresentarão em implementar sistemas baseados em índices mais completos, que requeiram maior disponibilidade de recursos financeiros para os meios e equipamentos necessários, propõe-se, assim, uma alternativa, para aqueles que não necessitem do grau de fiabilidade que esses índices atingem.

Entende-se que mesmo nas situações em que estejam em funcionamento sistemas de gestão baseados em índices internacionalmente aceites como o PCI, se pode implementar o IIAE paralelamente. Praticamente não tem sobrecustos, e permite aumentar a periodicidade das avaliações e, por consequência, melhorar a monitorização do desempenho dos pavimentos.

Pode-se, dessa forma, despistar alguns pontos menos fortes do sistema proposto, melhorando globalmente a gestão da infraestrutura.

6.3 Proposta de Desenvolvimentos Futuros

Durante a execução deste trabalho, e por ele lançar as bases de um método que se julga totalmente inovador, foi sendo referida a necessidade de, nos trabalhos futuros, investir na aplicação prática dos procedimentos aqui expostos com o objectivo de verificar a credibilidade e melhorar a forma de cálculo do IIAE, calibrando os parâmetros propostos.

Uma vez que as maiores dificuldades encontradas no desenvolvimento da metodologia de cálculo do IIAE se centraram nos pesos relativos a atribuir a cada uma das

componentes, aquando da integração num único índice, propõe-se como trabalho futuro a investigação e calibração destes mesmos pesos, assim como dos factores de correcção nessas mesmas fórmulas (fórmulas [4] e [5]).

Parece ser igualmente interessante, validar os conceitos desta filosofia de avaliação, ao comparar os resultados obtidos pelas avaliações da condição de um mesmo pavimento através do IIAE e de outro índice conhecido como, por exemplo, o PCI (Pavement Condition Index). Este tipo de avaliação podia ter sido feita e só não foi efectuada por manifesta falta de tempo.

7 Bibliografia

AASHTO, American Association of State Highway and Transportation Officials. 2001. *AASHTO Guide for design of pavement structures*. Washington : United States, 2001.

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

AMC, Aeródromo Municipal de Cascais. Aeródromo Municipal. *Junta de Freguesia de São Domingos de Rana*. [Online] [Cited: Setembro 13, 2009.] <http://www.jf-sdrana.pt/sitemega/view.asp?itemid=138&catid>.

APS, Marcia. 2006. *Classificação da Aderência Pneu/Pavimento pelo Índice Combinado IFI - International Friction Index para Revestimentos Asfálticos*. São Paulo, Brasil : Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006.

ARCASCAIS E. M. 2009. Aeródromo Municipal de Cascais. *Aeródromo de Cascais*. [Online] 2009. [Cited: Setembro 30, 2009.] http://www.aerodromo-cascais.pt/fotos_aerodromo.html.

ARGUE, G. H. 2005. *Canadian Airfield Pavement - Engineering Reference*. Ottawa, Canadá : s.n., 2005.

ASTM D5340-98. 1998. *Standard Test Method for Airport Pavement Condition Index Surveys*. s.l. : American Society for Testing and Materials, 1998.

ASTM E1960-07. 2007. *Standard Practice for Calculating International Friction Index of a Pavement Surface*. s.l. : American Society for Testing and Materials, 2007.

ASTM E965-96. 2006. *Standard Test Method for Measuring Pavement Macrotexure Deph Using a Volumetric Technique*. s.l. : American Society for Testing and Materials, 2006.

AWASTHI, G. and Singh, T. May, 2001. *Roughness of Pavement Surfaces*. IIT, Kanpur : B Tech Tesis, Department of Civil Engineering, May, 2001.

AWASTHI, G., Singh, T. and Das, A. 2003. *On Pavement Roughness Indices*. IIT, Kanpur : s.n., 2003.

Câmara Municipal de Cascais. Câmara Municipal de Cascais. *Sistemas de Informação Geográfica*. [Online] [Cited: Setembro 13, 2009.] <http://sig.cm-cascais.pt/sig/html/index1280.asp>.

CANADA, Transport of. 2009. Pavement Management System. *Transport Canada*. [Online] 2009. [Cited: Setembro 12, 2009.] <http://www.tc.gc.ca/civilaviation/international/technical/pavement/management/menu.htm>.

COSTA, Hugo Bernardo Campos Branquinho Matos da. 2008. *Análise de Custos de Ciclo de Vida Relativa a Pavimentos Rodoviários Flexíveis - Tese de Dissertação de Mestrado*. Lisboa : Instituto Superior Técnico, 2008.

EN 13036-1. 2001. *Road and airfield surface characteristics. Test methods. Part 1: Measurement of pavement surface macrotexture depth using a volumetric patch technique*. s.l. : TC-227, 2001.

FONTUL, Simona. 2007. *Classificação ACN/PCN dos Pavimentos do Aeródromo Municipal de Cascais - NIRA, Núcleo de Infraestruturas Rodoviárias e Aeroportuárias*. s.l. : LNEC, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2007. 407/2007.

HORONJEFF, Robert and McKelvey, Francis X. 1993. *Planning & Design of Airports*. Fourth Edition. U.S.A. : Mc Graw Hill, 1993.

ICAO, International Civil Aviation Organization. 1983. *Aerodrome Design Manual - Part 3 Pavements*. 1983. Second Edition.

ICAO, International Civil Aviation Organization. July 2004. *Aerodromes - Annex 14*. July 2004. Fourth Edition.

ICAO, International Civil Aviation Organization . 1994. *Airport Services Manual, Part 2, Pavement Surface Conditions*. Montreal : s.n., 1994. Third Edition.

ICAO, International Civil Aviation Organization. 1983. *Aerodrome Design Manual, Part 2: Taxiways, Aprons and Holding Bays. Second Edition* Montreal, 1983.

INTERNATIONAL, Airport. 2009. Douglas Mu-Meter. *Airport International*. [Online] 2009. [Cited: Dezembro 27, 2009.] http://www.airport-int.com/upload/image_files/suppliers/images/companies/1735/douglas-mu-meterl.jpg.

IRVINE, Findlay. 2009. Grip Tester. *Findlay Irvine*. [Online] 2009. [Cited: Dezembro 27, 2009.] <http://www.findlayirvine.com/>.

JAE. 1998. *Junta Autónoma das Estradas - Caderno de Encargos*. s.l. : Instituto das Estradas de Portugal, S.A., 1998

LINDBERGH, Charles A. 1927. *The Spirit of St. Louis*. 1927.

MENEZES, Miguel Vaz Preto de. 2008. *Estudo das Características de Superfície de Pavimentos Rodoviários para Análise da Segurança do Tráfego - Dissertação de Mestrado.* Lisboa : Instituto Superior Técnico, 2008.

NAV. 2009. AIP - LPCS Cascais. *NAV Portugal.* [Online] 2009. [Cited: Dezembro 18, 2009.] http://www.nav.pt/ais/cd/2009_11_19_AIRAC/html/index.html.

NAV. 2009. AIP - LPPC Porto. *NAV Portugal.* [Online] 2009. [Cited: Dezembro 27, 2009.] http://www.nav.pt/ais/cd/2009_11_19_AIRAC/html/index.html.

PROC. 51/1/3416. *Ensaio da Mancha de Areia.* Lisboa : LNEC, Laboratório Nacional de Engenharia Civil.

RDPE, Desenvolvimento de Projectos Empresariais. 1999. *Aeródromo de Cascais - Estudo de Mercado.* Cascais : Câmara Municipal de Cascais, 1999.

SAYERS, Michael W. and Karamihas, Steven M. September 1998. *The Little Book of Profiling - Basic Informaiton about Measuring and Interpreting Road Profiles.* s.l. : University of Michigan, September 1998.

SHAH, Anwar, Tighe, Susan and Stewart, Allen. 2004. *Development of a unique deterioration index, prioritization methodology, and foreign object damage evaluation models for Canadian airfield pavement management.* Canada : National Research Council Canada, 2004.

SHAHIN, M. Y. 2005. *Pavement Management for Airports, Roads, and Parking Lots.* s.l. : Springer, 2005. pp. 93-95.

SPECHT, Luciano P., et al. 2007. *Evaluation of Pavement Macrotecture by Sand Patch Technique.* Brasil : s.n., 2007.

U. S. Department of Transportation. 2004. *Airfield Pavement Surface Evaluation and Rating Manuals.* Washington : Federal Aviation Administration, 2004. AC 150/5320-17.

U. S. Department of Transportation. 2004. 1996. *Airport Pavement Design and Evaluation.* Washington : Federal Aviation Administration, 1996. Advisory Circular AC 150/5320-6D.

U. S. Department of Transportation. 2004. 2006. *Airport Pavement Management Program.* Washington : Federal Aviation Administration, 2006. AC 150/5380-7A.

U. S. Department of Transportation. 2004. 2007. *Guidelines and Procedures for Maintenance of Airport Pavements.* Washington : Federal Aviation Administration, 2007. AC 150/5380-6B.

U. S. Department of Transportation. 2004. 2006. *Standardized Method of Reporting Airport Pavement Strength - PCN*. Washington : Federal Aviation Administration, 2006. Advisory Circular AC 150/5335-5A.

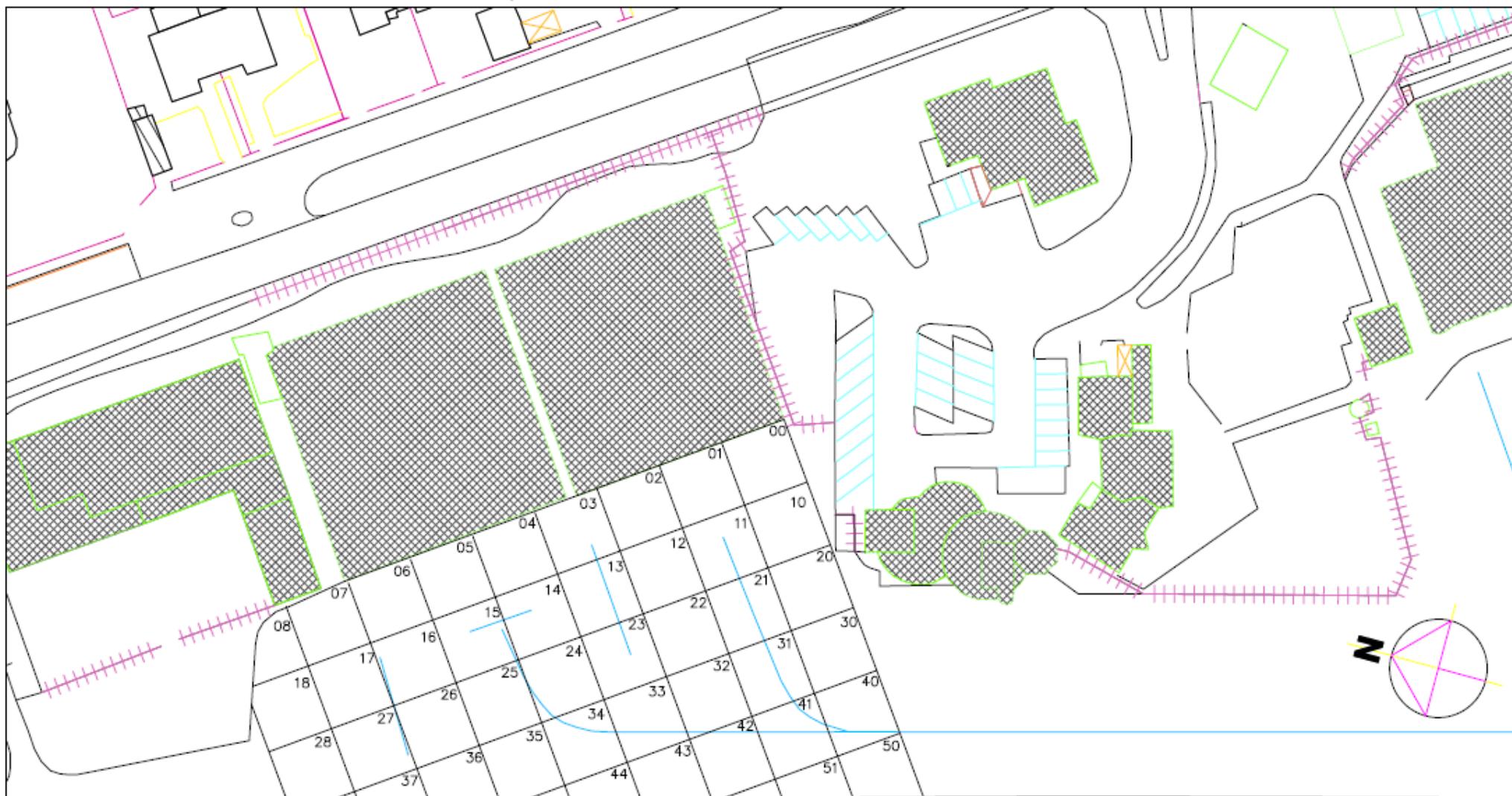
VELOSO, Joaquim J. 2001. *Gestão de Pavimentos Aeronáuticos - Tese de Dissertação de Mestrado*. Lisboa : Instituto Superior Técnico, 2001.

WIKIPEDIA, A Enciclopédia Livre. 2009 [Online] [Cited: Dezembro 29, 2009] <http://pt.wikipedia.org>

WSDOT, Washington State Department of Transportation. 2009. Pavement Evaluation. *WSDOT*. [Online] 2009. [Cited: Dezembro 27, 2009.] http://training.ce.washington.edu/wsdot/Modules/09_pavement_evaluation/09-2_body.htm.

YEAMAN, John. 2005. *Are we afraid of the IFI?* Nova Zelândia : Pavement Management Services Pty Ltd, 2005.

ANEXOS



<p>INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO</p>	ANEXO I.1	Aeródromo Municipal de Cascais
	PLACA ALFA - GRELHA D	
	Dissertação de Mestrado	
	João Rodrigues Luis	
	Desenvolvimento de um Modelo de Avaliação Expedita de Pavimentos Aeronáuticos	
	Índice Integrado de Avaliação Expedita (IIAE)	
Data: Março de 2009	Escala: 1:800	

ANEXO I.2 – Matriz A

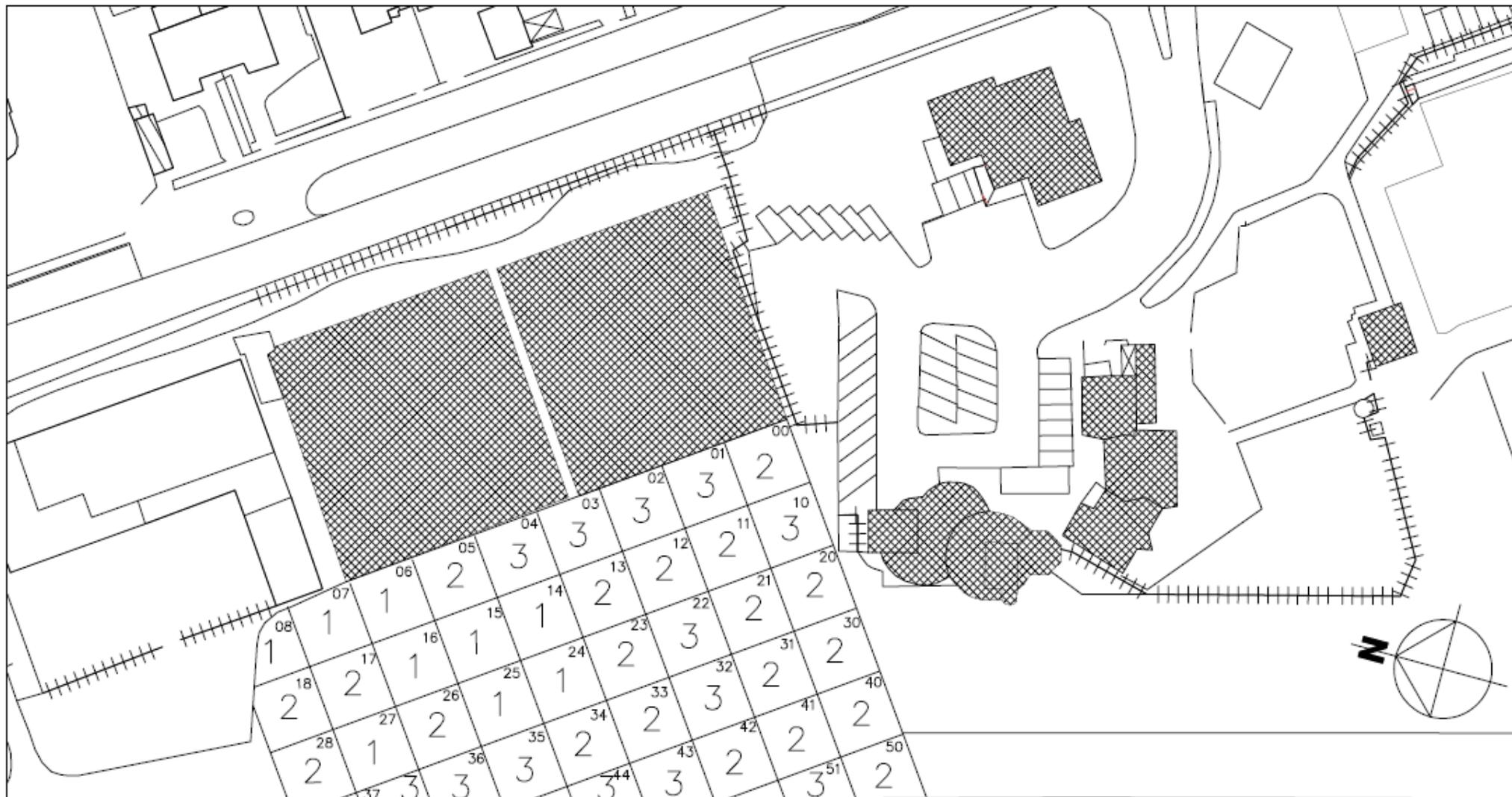
Secção	0	1	2	3	4	5	6	7	8	10	11	12	13	14	15	16	17	18	20	21	22	23	24	25	26	27	28	30	31	32	33	34	35	36		
A.I.1																																				
A.I.2																																				
A.I.3																																				
A.I.4																																				
A.II.1																																				
A.II.2																																				
A.II.3																																				
A.II.4																																				
A.III.1																																				
A.III.2																																				
A.III.3																																				
A.III.4																																				
A.III.5																																				
A.III.6																																				
A.IV.1																																				
A.IV.2																																				
A.V.1																																				
A.V.2																																				

X =																																					
\sum “1”																																					
Y =																																					
\sum “2”																																					

ANEXO I.2 (continuação) – Matriz A

Secção	37	40	41	42	43	44	50	51
A.I.1								
A.I.2								
A.I.3								
A.I.4								
A.II.1								
A.II.2								
A.II.3								
A.II.4								
A.III.1								
A.III.2								
A.III.3								
A.III.4								
A.III.5								
A.III.6								
A.IV.1								
A.IV.2								
A.V.1								
A.V.2								

X = \sum "1"								
Y = \sum "2"								



	ANEXO II.1	Aeródromo Municipal de Cascais
	PLACA ALFA - MATRIZ S	
	Dissertação de Mestrado	
	João Rodrigues Luís	
	Desenvolvimento de um Modelo de Avaliação Expedita de Pavimentos Aeronáuticos	
Índice Integrado de Avaliação Expedita (IIAE)		
Data: Março de 2009	Escala: 1:800	



LEGENDA:	
	Pele de Crocodilo
	Depressão
	Deformação
	Desagregação Superficial
	Derrame de combustíveis, óleos e outros

	ANEXO II.2	Aeródromo Municipal de Cascais
	PLACA ALFA - MATRIZ S'	
	Dissertação de Mestrado	
	João Rodrigues Luis	
	Desenvolvimento de um Modelo de Avaliação Expedida de Pavimentos Aeronáuticos	
Índice Integrado de Avaliação Expedida (IIAE)		
Data: Março de 2009	Escala: 1:600	

ANEXO III - Matriz A - Levantamento Objectivo de Anomalias na Plataforma de Estacionamento Alfa – Aeródromo de Tires

Secção	0	1	2	3	4	5	6	7	8	10	11	12	13	14	15	16	17	18	20	21	22	23	24	25	26	27	28	30	31	32	33	34	35	36		
A.I.1	1	1	2	1	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	2	1	2	2	2	2	1	2	
A.I.2	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
A.I.3	2	1	1	1	1	1	1	-	-	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1		
A.I.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
A.II.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	1	1	-	1	1	2	-	
A.II.2	1	1	1	2	1	1	1	1	1	-	1	-	-	-	-	1	1	1	-	-	1	-	1	1	1	2	1	-	-	-	-	-	-	-		
A.II.3	1	1	2	1	1	1	1	2	1	-	1	1	-	1	1	1	-	-	2	1	-	-	1	-	1	2	1	-	2	1	1	1	1	1	1	
A.II.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A.III.1	-	1	-	2	1	1	1	-	-	-	2	1	-	-	-	-	-	-	1	1	-	-	1	1	-	-	1	-	1	-	-	-	-	-	-	
A.III.2	-	1	-	-	-	-	-	1	1	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
A.III.3	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
A.III.4	1	2	1	1	1	1	1	1	-	1	1	1	1	1	-	1	1	-	-	-	1	1	-	2	1	2	2	1	1	1	1	1	1	2	2	
A.III.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
A.III.6	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	1	1	-	-	1	-	-	2	1	2	1	-	-	2	-	-	-	-	-	-	
A.IV.1	-	1	1	1	-	-	2	1	2	1	-	-	-	-	1	-	1	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	
A.IV.2	1	-	-	-	-	2	1	1	-	-	1	-	-	-	1	-	-	2	-	-	-	-	-	1	-	1	2	-	-	-	-	-	-	-	-	
A.V.1	2	2	1	1	2	2	1	-	-	2	2	2	2	2	1	2	2	-	1	2	2	2	2	1	1	-	-	2	1	2	1	1	1	-	-	
A.V.2	-	1	-	-	-	1	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	

X = Σ“1”	5	8	5	7	5	7	8	6	3	3	6	4	2	3	4	5	5	2	3	4	3	2	6	6	6	4	5	3	8	3	4	4	3	2	
Y = Σ“2”	2	2	2	2	2	2	2	3	2	2	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	2	2	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2

Matriz A (continuação) – Levantamento Objectivo de Anomalias na Plataforma de Estacionamento Alfa – Aeródromo de Tires

Secção	37	40	41	42	43	44	50	51
A.I.1	1	2	1	2	2	2	1	2
A.I.2	-	-	-	-	-	-	-	-
A.I.3	1	1	2	1	-	-	2	-
A.I.4	-	-	-	-	-	-	-	-
A.II.1	-	1	1	-	-	-	-	-
A.II.2	2	-	-	-	1	-	-	-
A.II.3	1	1	1	1	1	1	1	1
A.II.4	-	-	-	-	-	-	-	-
A.III.1	-	-	-	-	-	-	-	-
A.III.2	-	-	-	-	-	-	-	-
A.III.3	1	-	-	-	-	-	-	-
A.III.4	-	1	1	1	2	2	2	2
A.III.5	-	-	-	-	-	-	-	-
A.III.6	-	1	2	1	-	-	-	-
A.IV.1	-	-	1	-	-	-	-	-
A.IV.2	-	-	-	-	-	-	-	-
A.V.1	-	-	-	-	-	-	-	-
A.V.2	-	-	-	-	-	-	-	-

X = Σ“1”	4	5	5	4	2	1	2	1
Y = Σ“2”	1	1	2	1	2	2	2	2

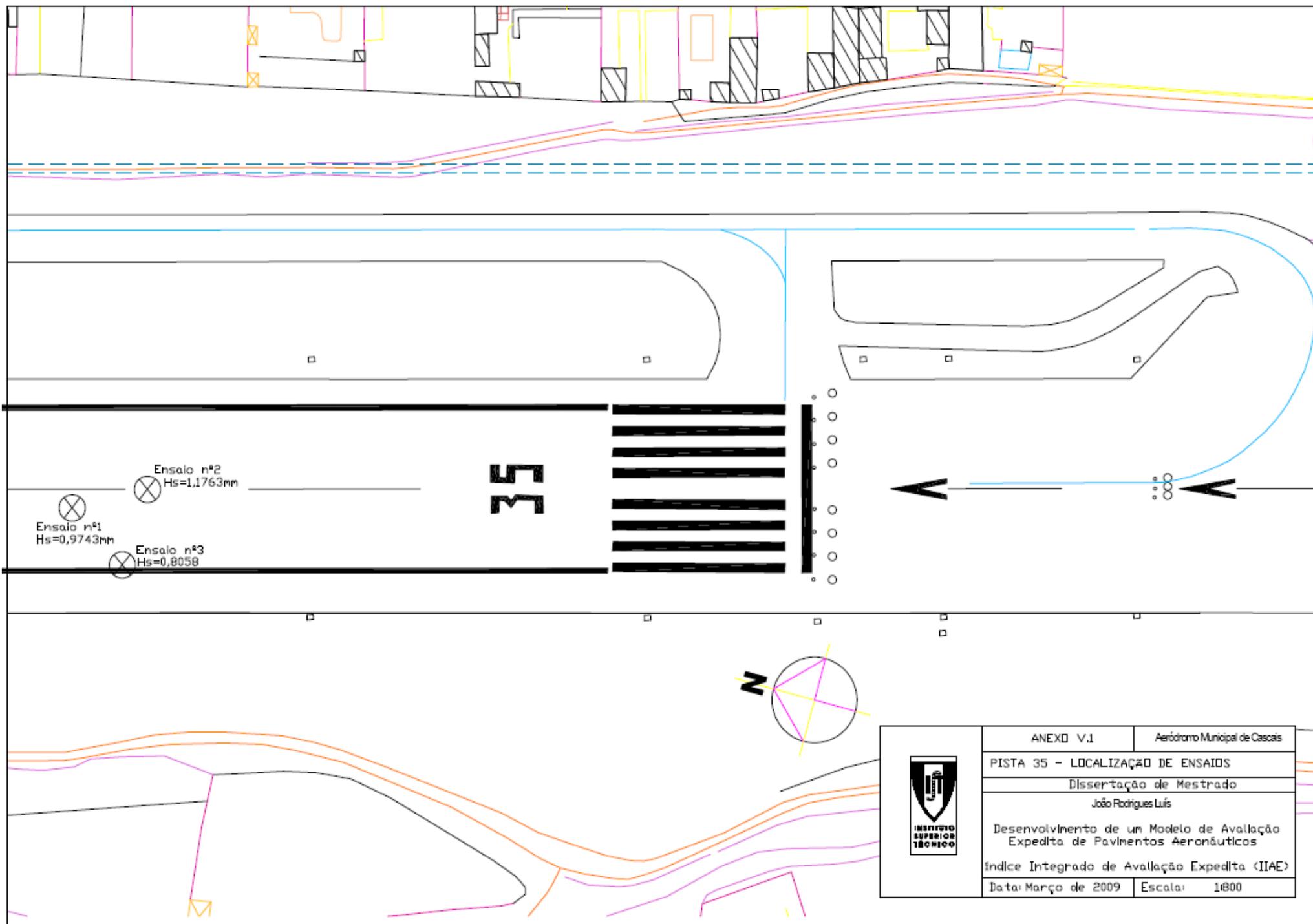
ANEXO IV - PLANO DE ENSAIOS RESUMIDO

NOME: João Rodrigues Luís	ORIENTADOR: Prof. Jorge Paulino Pereira
DATA: 10 de Fevereiro de 2009	CURSO: Engenharia Civil
ÁREA: Pavimentos de Infraestruturas de Transportes	GRAU: Tese de Dissertação (Mestrado)
E-MAIL: joaorluis@gmail.com	
TÍTULO DO TRABALHO: DESENVOLVIMENTO DE UM ÍNDICE EXPEDITO DE AVALIAÇÃO DA CONDIÇÃO DE PAVIMENTOS AERONÁUTICOS	

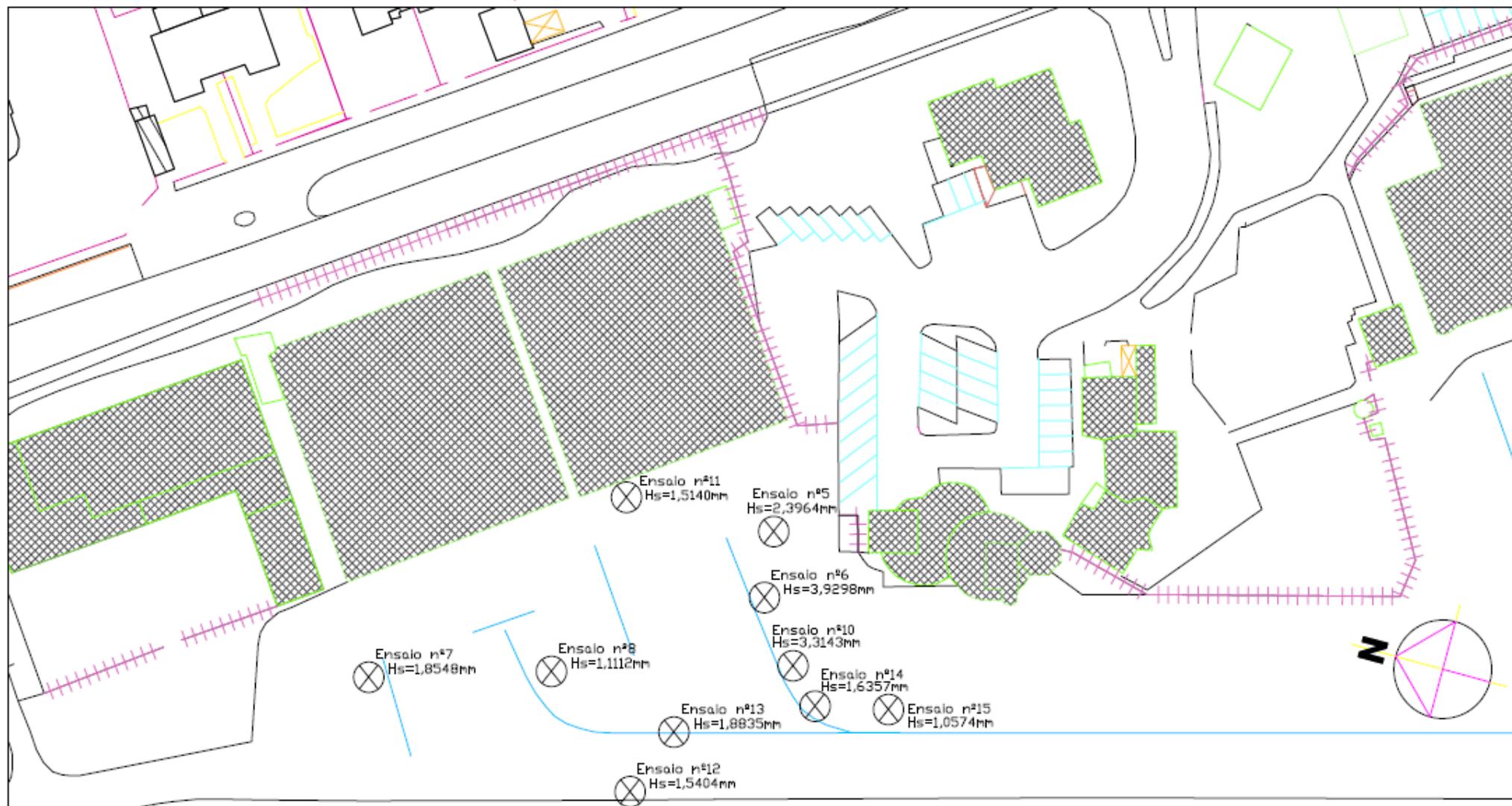
Ensaio de mancha de areia para aferição de rugosidade superficial, macrotextura do pavimento.

Quantidade e caracterização dos ensaios a realizar:

Ensaio nº.	Local	Descrição	Objectivo
	Pista Principal		Calibrar e padronizar resultados dos ensaios seguintes
1		Ponto de toque – Pista 35	Ponto específico
2		Eixo da pista	Padrão
3		A 7 m do eixo	
	Placa de Estacionamento Alfa		Plataforma em estudo
4		Mancha de derrame – 1º Grau	Caracterizar e distinguir diferentes estádios de degradação resultante do derrame de combustíveis e óleos
5		Mancha de derrame – 2º Grau	
6		Mancha de derrame – 3º Grau	
7		Mancha de derrame – 4º Grau	
8		Mancha de derrame – 5º Grau	
9		Pavimento Fendilhado – Pele de Crocodilo	Inferir sobre a influência de fendas
14		Reparações posteriores – Nível 1	Avaliar o estado de intervenções recentes
15		Reparações posteriores – Nível 2	
10		Pavimento Original – Estado A	Avaliar o estado do pavimento mais antigo
11		Pontos específicos – Junto a sistema de drenagem	Caracterização de pontos específicos
12		Pontos específicos – Zona de menor circulação	
13		Pontos específicos – Eixo da linha de circulação que serve a plataforma	



	ANEXO V.1	Aeródromo Municipal de Cascais
	PISTA 35 - LOCALIZAÇÃO DE ENSAIOS	
	Dissertação de Mestrado	
	João Rodrigues Luís	
	Desenvolvimento de um Modelo de Avaliação Expedita de Pavimentos Aeronáuticos	
Índice Integrado de Avaliação Expedita (IIAE)		
Data: Março de 2009	Escala: 1:800	



 INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO	ANEXO V.2	Aeroporto Municipal de Cascais
	PLACA ALFA - LOCALIZAÇÃO DE ENSAIOS	
	Dissertação de Mestrado	
	João Rodrigues Luis	
	Desenvolvimento de um Modelo de Avaliação Expedita de Pavimentos Aeronáuticos	
Índice Integrado de Avaliação Expedita (IIAE)		
Data: Março de 2009		Escala: 1:800

ANEXO VI

Ensaio nº 1

Hora 7:35

28 de Março de 2009

Foto:



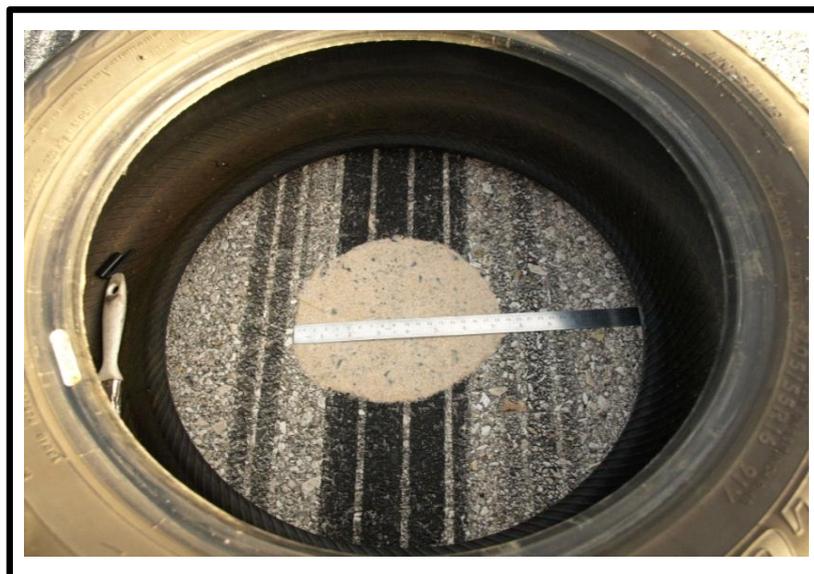
Resultados:

Coordenadas GPS*		Altura* (m)	Temp. (°C)	Hr (%)	D1 (cm)	D2 (cm)	D3 (cm)	D4 (cm)
Latitude (°N)	Longitude (°W)							
38,71982	-9,35329	143	14	67	17,2	18,0	18,5	18,6

Dmed. (cm)	Hs (mm)	Dmáx. (cm)	Dmín. (cm)
18,1	0,9743	18,6	17,2

Observações: Ponto de toque com clara deposição de borracha, apesar de não ser perceptível a alteração da macrotextura antes de efectuar o ensaio.

Foto:



* Obtidos de um receptor GPS (SiRF Star III) de utilização comum

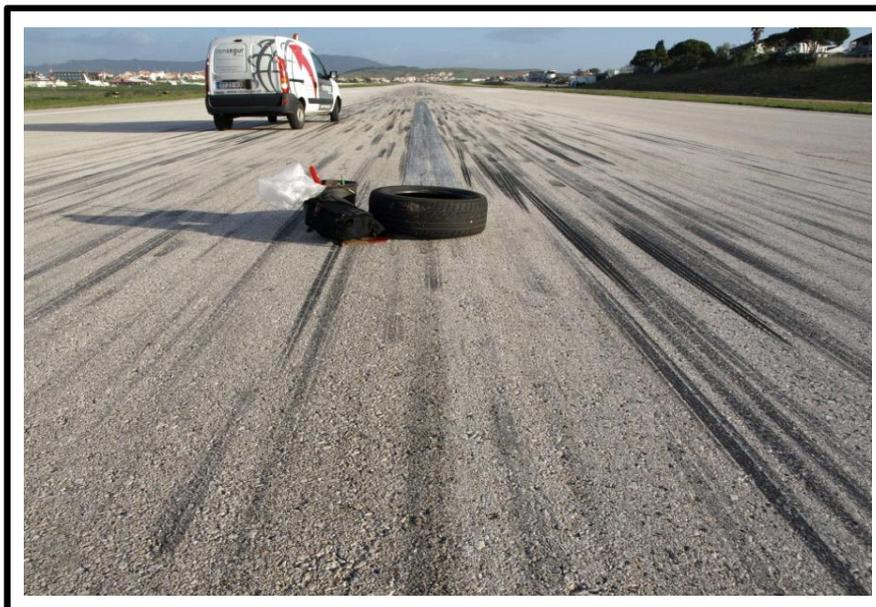
ANEXO VI

Ensaio nº	2
-----------	---

Hora	7:45
------	------

28 de Março de 2009

Foto:



Resultados:

Coordenadas GPS*		Altura* (m)	Temp. (°C)	Hr (%)	D1 (cm)	D2 (cm)	D3 (cm)	D4 (cm)
Latitude (°N)	Longitude (°W)							
38,71976	-9,35325	146	14	68	16,5	16,8	16,4	16,1

Dmed. (cm)	Hs (mm)	Dmáx. (cm)	Dmín. (cm)
16,5	1,1763	16,8	16,1

Observações: Eixo da pista, no ponto de toque, com a superfície do pavimento a denotar algum desgaste devido à utilização.

Foto:



* Obtidos de um receptor GPS (SiRF Star III) de utilização comum

ANEXO VI

Ensaio nº	3
-----------	---

Hora	7:55
------	------

28 de Março de 2009

Foto:



Resultados:

Coordenadas GPS*		Altura* (m)	Temp. (°C)	Hr (%)	D1 (cm)	D2 (cm)	D3 (cm)	D4 (cm)
Latitude (°N)	Longitude (°W)							
38,71977	-9,35335	144	15	68	20,9	19,3	18,8	20,5

Dmed. (cm)	Hs (mm)	Dmáx. (cm)	Dmín. (cm)
19,9	0,8058	20,9	18,8

Observações:	A cerca de 7m do eixo, no ponto de toque, com a superfície a apresentar uma macrotextura menos agressiva do que no eixo.
---------------------	--

Foto:



* Obtidos de um receptor GPS (SiRF Star III) de utilização comum

ANEXO VI

Ensaio nº 4

Hora 7:20

28 de Março de 2009

Foto:



Resultados:

Coordenadas GPS*		Altura* (m)	Temp. (°C)	Hr (%)	D1 (cm)	D2 (cm)	D3 (cm)	D4 (cm)
Latitude (°N)	Longitude (°W)							
38,72552	-9,35415	154	14	64	10,1	11,0	10,5	10,8

Dmed. (cm)	Hs (mm)	Dmáx. (cm)	Dmín. (cm)
10,6	2,8329	11,0	10,1

Observações: Realizado no maior derrame de derivados de petróleo da placa A.
Desagregação da superfície (Raveling) muito acentuada.

Foto:



* Obtidos de um receptor GPS (SiRF Star III) de utilização comum

ANEXO VI

Ensaio nº 5

Hora 8:11

28 de Março de 2009

Foto:



Resultados:

Coordenadas GPS*		Altura* (m)	Temp. (°C)	Hr (%)	D1 (cm)	D2 (cm)	D3 (cm)	D4 (cm)
Latitude (°N)	Longitude (°W)							
38,72511	-9,35402	153	15	66	11,7	11,5	11,4	11,5

Dmed. (cm)	Hs (mm)	Dmáx. (cm)	Dmín. (cm)
11,5	2,3964	11,7	11,4

Observações: Realizado no ponto de um derrame de combustível no pavimento original, com os agregados em claro relevo.

Foto:



* Obtidos de um receptor GPS (SiRF Star III) de utilização comum

ANEXO VI

Ensaio nº	6
-----------	---

Hora	8:22
------	------

28 de Março de 2009

Foto:



Resultados:

Coordenadas GPS*		Altura* (m)	Temp. (°C)	Hr (%)	D1 (cm)	D2 (cm)	D3 (cm)	D4 (cm)
Latitude (°N)	Longitude (°W)							
38,72508	-9,35408	151	16	64	9,1	8,6	9,7	8,6

Dmed. (cm)	Hs (mm)	Dmáx. (cm)	Dmín. (cm)
9,0	3,9298	9,7	8,6

Observações: Dificuldades na realização do ensaio devido às irregularidades da superfície. Agregados soltos e outros prestes a soltarem-se.
--

Foto:



* Obtidos de um receptor GPS (SiRF Star III) de utilização comum

ANEXO VI

Ensaio nº 7

Hora 8:45

28 de Março de 2009

Foto:



Resultados:

Coordenadas GPS*		Altura* (m)	Temp. (°C)	Hr (%)	D1 (cm)	D2 (cm)	D3 (cm)	D4 (cm)
Latitude (°N)	Longitude (°W)							
38,7256	-9,35439	150	15	63	13,2	13,3	12,8	13,1

Dmed. (cm)	Hs (mm)	Dmáx. (cm)	Dmín. (cm)
13,1	1,8548	13,3	12,8

Observações: Realizado numa mancha de combustível sobre um pavimento mais recente, com menor dimensão dos agregados.

Foto:



* Obtidos de um receptor GPS (SiRF Star III) de utilização comum

ANEXO VI

Ensaio nº 8

Hora 9:03

28 de Março de 2009

Foto:



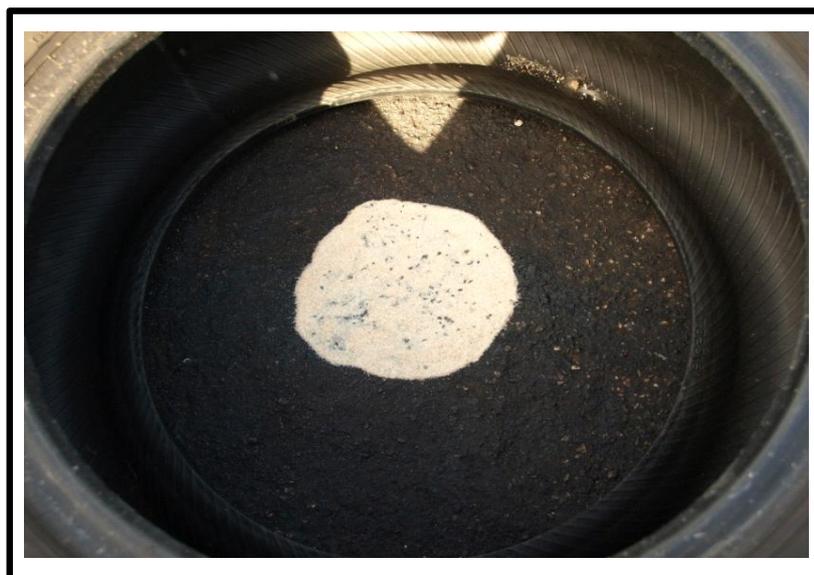
Resultados:

Coordenadas GPS*		Altura* (m)	Temp. (°C)	Hr (%)	D1 (cm)	D2 (cm)	D3 (cm)	D4 (cm)
Latitude (°N)	Longitude (°W)							
38,7253	-9,35429	152	17	60	16,4	17,3	17,5	16,5

Dmed. (cm)	Hs (mm)	Dmáx. (cm)	Dmín. (cm)
16,9	1,1112	17,5	16,4

Observações: Realizado numa mancha de combustível num remendo mais recente com uma mistura betuminosa deficiente e com exsudação presente.

Foto:



ANEXO VI

Ensaio nº	9
-----------	---

Hora	9:20
------	------

28 de Março de 2009

Foto:



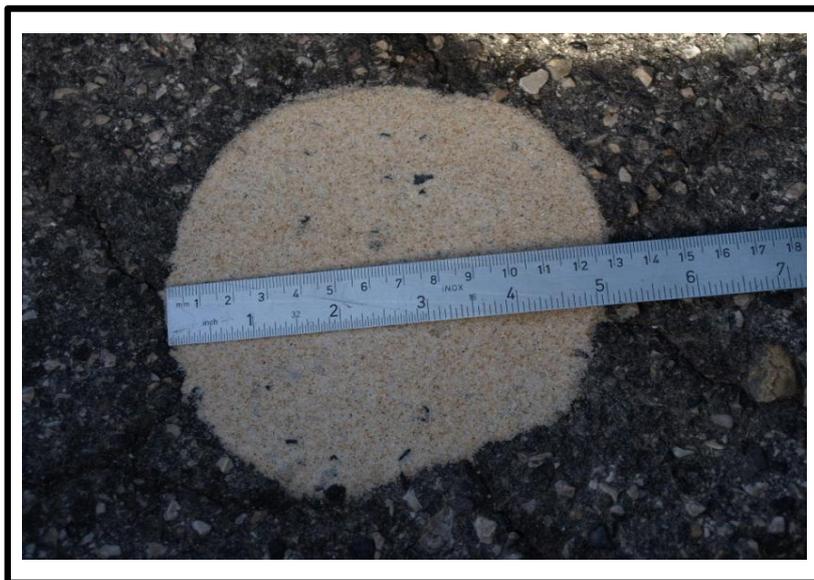
Resultados:

Coordenadas GPS*		Altura* (m)	Temp. (°C)	Hr (%)	D1 (cm)	D2 (cm)	D3 (cm)	D4 (cm)
Latitude (°N)	Longitude (°W)							
38,7251	-9,35416	154	17	59	12,8	13,9	13,0	13,5

Dmed. (cm)	Hs (mm)	Dmáx. (cm)	Dmín. (cm)
13,3	1,7995	13,9	12,8

Observações: Ensaio realizado sobre uma Pele de Crocodilo. Contraria a ASTM E965 (2006), pois não deve ser realizado numa zona fendilhada.

Foto:



* Obtidos de um receptor GPS (SiRF Star III) de utilização comum

ANEXO VI

Ensaio nº 10

Hora 9:35

28 de Março de 2009

Foto:



Resultados:

Coordenadas GPS*		Altura* (m)	Temp. (°C)	Hr (%)	D1 (cm)	D2 (cm)	D3 (cm)	D4 (cm)
Latitude (°N)	Longitude (°W)							
38,72509	-9,35414	155	16	59	9,5	10,2	9,9	9,6

Dmed. (cm)	Hs (mm)	Dmáx. (cm)	Dmín. (cm)
9,8	3,3143	10,2	9,5

Observações: Pavimento original, de 1977, com imenso desgaste e uma desagregação superficial muito significativa.

Foto:



* Obtidos de um receptor GPS (SiRF Star III) de utilização comum

ANEXO VI

Ensaio nº 11

Hora 9:45

28 de Março de 2009

Foto:



Resultados:

Coordenadas GPS*		Altura* (m)	Temp. (°C)	Hr (%)	D1 (cm)	D2 (cm)	D3 (cm)	D4 (cm)
Latitude (°N)	Longitude (°W)							
38,7253	-9,35394	154	15	61	14,6	14,8	14,6	14,0

Dmed. (cm)	Hs (mm)	Dmáx. (cm)	Dmín. (cm)
14,5	1,5140	14,8	14,0

Observações: Zona de pavimento mais recente, junto ao sistema de drenagem à frente dos hangares de manutenção. Textura normal.

Foto:



* Obtidos de um receptor GPS (SiRF Star III) de utilização comum

ANEXO VI

Ensaio nº 12

Hora 9:58

28 de Março de 2009

Foto:



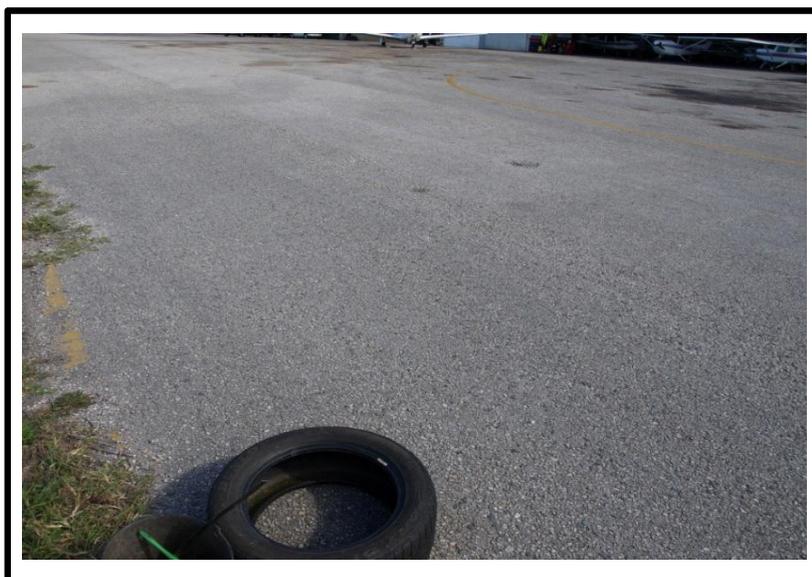
Resultados:

Coordenadas GPS*		Altura* (m)	Temp. (°C)	Hr (%)	D1 (cm)	D2 (cm)	D3 (cm)	D4 (cm)
Latitude (°N)	Longitude (°W)							
38,72518	-9,35444	158	14	60	13,0	16,0	15,0	13,5

Dmed. (cm)	Hs (mm)	Dmáx. (cm)	Dmín. (cm)
14,4	1,5404	16,0	13,0

Observações: Ensaio realizado muito próximo da berma, no pavimento original, desgastado dos anos. Textura um pouco agressiva.

Foto:



* Obtidos de um receptor GPS (SiRF Star III) de utilização comum

ANEXO VI

Ensaio nº 13

Hora 10:10

28 de Março de 2009

Foto:



Resultados:

Coordenadas GPS*		Altura* (m)	Temp. (°C)	Hr (%)	D1 (cm)	D2 (cm)	D3 (cm)	D4 (cm)
Latitude (°N)	Longitude (°W)							
38,72512	-9,35434	150	15	58	13,0	12,9	13,2	12,9

Dmed. (cm)	Hs (mm)	Dmáx. (cm)	Dmín. (cm)
13,0	1,8835	13,2	12,9

Observações: Ensaio no eixo da linha de circulação que serve a placa Alfa, no pavimento original, desgastado da utilização. Agregados polidos.

Foto:



* Obtidos de um receptor GPS (SiRF Star III) de utilização comum

ANEXO VI

Ensaio nº 14

Hora 10:20

28 de Março de 2009

Foto:



Resultados:

Coordenadas GPS*		Altura* (m)	Temp. (°C)	Hr (%)	D1 (cm)	D2 (cm)	D3 (cm)	D4 (cm)
Latitude (°N)	Longitude (°W)							
38,72496	-9,35409	153	16	56	13,5	13,6	14,3	14,4

Dmed. (cm)	Hs (mm)	Dmáx. (cm)	Dmín. (cm)
14,0	1,6357	14,4	13,5

Observações: Reparação recente com uma mistura betuminosa com agregados de dimensão máxima muito menor. Pavimento áspero.

Foto:



* Obtidos de um receptor GPS (SiRF Star III) de utilização comum

ANEXO VI

Ensaio nº 15

Hora 10:30

28 de Março de 2009

Foto:



Resultados:

Coordenadas GPS*		Altura* (m)	Temp. (°C)	Hr (%)	D1 (cm)	D2 (cm)	D3 (cm)	D4 (cm)
Latitude (°N)	Longitude (°W)							
38,72493	-9,35411	159	16	54	17,0	19,5	16,4	16,5

Dmed. (cm)	Hs (mm)	Dmáx. (cm)	Dmín. (cm)
17,4	1,0574	19,5	16,4

Observações: Pavimento muito polido e sem desagregação superficial. Aparenta ser diferente do pavimento original, numa zona de forte utilização.

Foto:



* Obtidos de um receptor GPS (SiRF Star III) de utilização comum

ANEXO VIII – Grelhas dos resultados das classificações da placa de estacionamento Alfa

Tabela 1 - Classificação DMI_i e Anomalias condicionantes

8	7	6	5	4	3	2	1	0	Linha/ Coluna
3 – A.I.1 A.IV.1	2 – A.I.1 A.II.3 A.III.6	2 – A.I.1 A.IV.1	2 – A.IV.2 A.V.1	3 – A.I.1 A.V.1	2 – A.II.2 A.III.1	3 – A.I.1 A.II.3	2 – A.III.4 A.V.1	3 – A.I.3 A.V.1	0
2 – A.I.1 A.IV.2	2 – A.I.1 A.V.1	1 – A.I.1 A.V.1	1 – A.I.1 A.I.3	2 – A.I.1 A.V.1	2 – A.I.1 A.V.1	3 – A.I.1 A.V.1	2 – A.I.1 A.III.1 A.V.1	3 – A.I.1 A.V.1	1
3 – A.III.4 A.IV.2	2 – A.II.2 A.II.3 A.III.4	2 – A.I.1 A.III.6	2 – A.I.1 A.III.4	2 – A.I.1 A.III.6 A.V.1	3 – A.I.1 A.V.1	3 – A.I.1 A.V.1	3 – A.I.1 A.V.1	3 – A.I.1 A.II.3	2
-	4 – A.II.2	3 – A.I.1 A.III.4	3 – A.II.1 A.III.4	3 – A.I.1 A.I.3	3 – A.I.1 A.I.3	3 – A.I.1 A.V.1	2 – A.II.3 A.III.6	3 – A.I.1 A.V.1	3
-	-	-	-	4 – A.I.1 A.III.4	3 – A.I.1 A.III.4	4 – A.I.1	3 – A.I.3 A.III.6	3 – A.I.1	4
-	-	-	-	-	-	-	4 – A.I.1 A.III.4	3 – A.I.3 A.III.4	5

Tabela 2 – Classificação S_i

8	7	6	5	4	3	2	1	0	Linha/ Coluna
1	1	1	2	3	3	3	3	2	0
2	2	1	1	1	2	2	2	3	1
2	1	2	1	1	2	3	2	2	2
-	3	3	3	2	2	3	2	2	3
-	-	-	-	3	3	2	2	2	4
-	-	-	-	-	-	-	3	2	5

