



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR
Engenharia

Sistema de Gestão de Pavimentos Aeroportuários para Cabo Verde

Débora Sofia Gomes Maurício Lima

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Civil: Geotecnia e Ambiente
(Ciclo de estudos integrado)

Orientador: Prof.^a Doutora Bertha Maria Batista dos Santos
Co-orientador: Prof. Doutor Pedro Gabriel de Faria Lapa Barbosa de Almeida

Covilhã, outubro de 2016

Dedicatória

Aos meus pais,
João de Deus e Lígia Lima

Agradecimentos

Este trabalho não teria sido possível sem o apoio de uma forma direta e/ou indireta de várias pessoas às quais quero expressar os meus sinceros agradecimentos.

Aos meus orientadores, Professora Doutora Bertha Maria Batista dos Santos e ao Professor Doutor Pedro Gabriel de Faria Lapa Barbosa de Almeida, por terem aceite orientar-me, pela atenção, confiança e disponibilidade que sempre demonstraram em todas as fases deste trabalho. Obrigada por tudo e por todos os conhecimentos que me transmitiram.

À empresa ASA, Aeroportos Segurança Aérea S.A pela oportunidade, confiança e por terem acreditado e suportado financeiramente os estudos práticos realizados em Cabo Verde, mais uma vez muito obrigada. À todos os colaboradores empresa em particular do DEMIA, pela amabilidade que me acolheram e por todo o apoio e conhecimento transmitido.

Ao Eng. Irlando Rodrigues, chefe de Departamento de Manutenção Geral da ASA, pela paciência, disponibilidade, auxílio, companheirismo e orientação que sempre teve ao longo de todo o estágio, durante o levantamento e georreferenciação das degradações existentes no pavimento da pista do Aeroporto Internacional Amílcar Cabral e por todo o ensinamento. Obrigada pelas extensas horas que privaste a tua família em prole do meu trabalho.

Ao Sr. Sandro Brito, pela confiança depositada em mim e por acreditar no meu trabalho.

Á todos os meus colegas de curso agradeço o companheirismo ao longo de todo o percurso académico, pelas muitas horas passados juntos na sala de estudo do polo das engenharias, pela troca de conhecimentos.

Aos meus verdadeiros amigos agradeço o apoio e o carinho.

À minha família do coração, Rodrigo Vera-Cruz, Margarida Ribeiro e “filha” Venira de Pina pela força, apoio, carinho e amizade.

Ao meu confidente, amigo, concelheiro “Ráh” Nay Even Cabral obrigada por tudo.

Ao meu namorado e amigo Ronaldo Costa, pelo companheirismo, pela força e paciência ao longo desta caminhada.

Á toda a minha família, avós, tios, tias, primos, muito obrigada pelo carinho e apoio incondicional.

Á minha tia Manuela Maurício “mãezinha” obrigada por tudo, carinho, apoio, por estar sempre presente mesmo à distancia.

Á minha irmã Kátia Lima, obrigada pelo apoio e carinho.

Obrigada ao meu irmão Luís Lima por todo o apoio, carinho, paciência, motivação em todas as fases deste trabalho, *“thanks L, bo sabe o quanto bo foi importante pam consegui desenvolve e conclui esse traboi”*.

Por ultimo os mais importantes, aos meus pais, João de Deus Lima e Ligia Lima, *“um kria agradece bzot pa educação que bzot dame, pa confiança, pa tudo esforço que bzot faze e bzot tem feito pa mim e pa nhas irmon, sem bzot nada disso era possível. Obrigada pa bzot ser es pais maravilhoso e pa mdjer que mim é”*.

Resumo

Considerando que os pavimentos aeroportuários se encontram constantemente sujeitos a ações que contribuem para a redução da sua qualidade, e que os mesmos desempenham um papel importante para uma operação segura, eficaz e eficiente do complexo aeroportuário, o acompanhamento do seu estado e o planeamento da sua conservação constituem duas grandes preocupações das entidades responsáveis pela gestão da infraestrutura.

Tendo em vista uma gestão sustentada dos pavimentos aeroportuários, o trabalho apresenta uma descrição das principais componentes de um Sistema de Gestão de Pavimentos Aeroportuários (SGPA), o procedimento necessário para a obtenção do *Pavement Condition Index -PCI* (D5340 - 12), segundo a sua última atualização, e duas abordagens de auscultação dos pavimentos: levantamento tradicional (a pé) e levantamento em veículo com recurso a protótipo equipado com dispositivos de varrimento laser e de captação e registo de dados de imagem e de georreferenciação.

Os princípios e metodologias descritos foram aplicados no desenvolvimento das fases de inventário, levantamento do estado, preparação da base de dados e avaliação dos pavimentos de um SGPA adaptado à realidade Cabo-verdiana.

As operações desenvolvidas, o tratamento dos dados e os resultados obtidos pelas duas abordagens de auscultação dos pavimentos, permitiram concluir que a utilização do sistema desenvolvido é viável e que este pode ser usado no processo de tomada de decisão relativo a investimentos nos pavimentos das infraestruturas que compõe o Sistema de Aviação Civil de Cabo Verde.

Palavras-chave

Pavimentos Aeroportuários, Degradações, Avaliação de pavimentos, Sistemas de Gestão de Pavimentos.

Abstract

Given that airport pavements are constantly being subjected to factors which reduce their quality and undermine their durability, and considering their importance in assuring the safety and efficiency of an airport complex, studying their state of condition and planning for their conservation is of the utmost importance for the entities which are responsible for managing airport infrastructure.

Having sustainable management of airport pavements as a goal, this thesis presents a description of the main components of an Airport Pavement Management System (APMS); the necessary procedure for obtaining the *Pavement Condition Index -PCI* according to its last update (D5340 - 12); and two assessments on pavements inspection: traditional visual inspection (on foot) and in-vehicle inspection with prototype equipped with laser scanning devices and with the ability to capture and register information on imaging and georeferencing.

The referenced principles and methodologies were applied in the development of an APMS adapted to Cape-Verdean realities, in particular with regard to inventory, survey, data base and pavements evaluation phases.

The developed operations, the treatment of data and the obtained results resulted in the conclusion that the usage of the developed system is viable and that it can be used in the process of decision making related to investment in pavements of infrastructures of the Cape Verdean Civil Aviation System.

Keywords

Airport Pavements, Distresses, Pavement Analysis, Pavement Management Systems.

Índice

Agradecimentos	v
Resumo	vii
Palavras-chave	vii
Abstract	ix
Keywords	ix
Índice	xi
Lista de Figuras.....	xv
Lista de Tabelas	xvii
Lista de Expressões	xix
Lista de Acrónimos	xxi
1 Introdução	23
1.1 Enquadramento e justificação do tema	23
1.2 Objetivos	23
1.3 Estrutura da dissertação	24
2 SISTEMAS DE GESTÃO DE PAVIMENTOS AEROPORTUÁRIOS.....	25
2.1 Objetivos e benefícios de um SGPA.....	26
2.2 Estrutura dos SGPA.....	28
2.2.1 Níveis de Gestão da Rede de Pavimentos Aeroportuários.....	28
2.2.2 Inventário e levantamento do estado da rede de pavimentos	29
2.2.3 Base de Dados dos Pavimentos Aeroportuários	30
2.2.4 Avaliação da Qualidade dos Pavimentos Aeronáuticos	30
2.2.5 Estratégia de conservação dos pavimentos	31
2.2.6 Programa de conservação	33
3 AVALIAÇÃO DO ESTADO DOS PAVIMENTOS AEROPORTUÁRIOS.....	35
3.1 Introdução.....	35
3.2 Pavimentos aeroportuários	35
3.2.1 Pavimentos Flexíveis	35

3.2.2	Pavimentos Rígidos	37
3.3	Degradações superficiais dos pavimentos aeroportuários flexíveis	38
3.4	Avaliação da qualidade funcional	48
3.4.1	<i>Pavement Condition Index</i> - PCI	49
3.4.2	Identificação e segmentação da rede de pavimentos aeroportuários	49
3.4.3	Determinação do número de unidades de amostra a observar	50
3.4.4	Cálculo do PCI de uma unidade de amostra	51
3.4.5	Cálculo do PCI de uma secção	53
3.5	Avaliação estrutural	55
3.5.1	Método ACN/PCN	55
3.6	Avaliação da segurança de circulação	57
3.6.1	Textura superficial	59
3.6.2	Irregularidade longitudinal e transversal	59
4	SGP AEROPORTUÁRIOS PARA CABO VERDE: DEFINIÇÃO E CASO DE ESTUDO	61
4.1	Introdução	61
4.2	Localização geográfica	61
4.3	Caracterização do Aeroporto Internacional Amílcar Cabral	62
4.4	Segmentação da Pista	63
4.5	Levantamento e tratamento dos dados	66
4.5.1	Inspeção visual tradicional (a pé)	67
4.5.2	Levantamento em veículo com dispositivos de varrimento laser e de captação e registo de dados de imagem e de georreferenciação	69
4.5.3	Tratamento e visualização em SIG dos dados obtidos no levantamento com veículo equipado	74
4.6	Análise dos resultados	77
5	Conclusões	81
6	Referências Bibliográficas	85
7	Anexos	87
I.	Planta “Lado Ar” do Aeroporto Internacional Amílcar Cabral	
II.	Segmentação da Rede do Aeroporto Internacional Amílcar Cabral	
III.	Numeração das unidades de amostra	

- IV. Localização das unidades de amostra inspecionadas
- V. Representação gráfica do PCI (Levantamento tradicional)
- VI. Representação gráfica do PCI (Levantamento com veículo)

Lista de Figuras

Figura 2.1 Degradação do estado de um pavimento aeroportuário ao longo do seu ciclo de vida (adaptado de AC 150/5380-7B, 2014).	27
Figura 2.2: Fluxograma de um Sistema de Gestão de Pavimentos Aeroportuários (Applied, 2013).	28
Figura 2.3 - Dados de entrada e resultados de uma “Análise do Custo Total” do ciclo de vida de um pavimento aeroportuário (Adaptado McNerney, et al., 1995).	32
Figura 3.1: (a) Estrutura típica de um pavimento flexível; (b) Distribuição da carga do tráfego em pavimentos flexíveis (adaptado de AC 150/5380-6B, 2007).	36
Figura 3.2: (a) Estrutura típica de pavimento rígido; (b) Distribuição da carga do tráfego num pavimento rígido (adaptado de AC 150/5380-6B, 2007).	37
Figura 3.3: Escala de classificação do PCI (adaptado do AC 150/5380-7B, 2014).	54
Figura 4.1: a) Localização geográfica da República de Cabo Verde; b) Mapa do arquipélago de Cabo Verde; c) Mapa da ilha do Sal; d) Mapa do Aeroporto Internacional Amílcar Cabral.	61
Figura 4.2 - Aeroporto Internacional Amílcar Cabral.	63
Figura 4.3 - Segmentação da Rede do Aeroporto Internacional Amílcar Cabral.	65
Figura 4.4 - Numeração das unidades de amostra da Secção A.	66
Figura 4.5 - Inspeção visual tradicional.	67
Figura 4.6 - Exemplo de folha de cálculo do PCI.	68
Figura 4.7 - Exemplo de cálculo do PCI.	69
Figura 4.8 - Equipamentos utilizados nos levantamentos.	70
Figura 4.9 - Verificação da amplitude de captação de imagem na posição paralelo a) e perpendicular ao sentido de movimento do veículo.	71
Figura 4.10 - Calibração do sistema de feixes laser.	72
Figura 4.11 - Triângulo obtido com as medições realizadas e o ângulo a determinar.	72
Figura 4.12 - Distância medida para obter a profundidade da rodeira ou a altura do empolamento (Nogueira, 2015).	73
Figura 4.13 - Carta temática dos valores do PCI obtidos pelo levantamento com veículo equipado - Secção A.	76
Figura 4.14 - Histogramas de distribuição do PCI - Secção A.	78

Figura 4.15 - Histogramas de distribuição do PCI - Secção B.	78
Figura 4.16 - Histogramas de distribuição do PCI - Secção C.	79
Figura 4.17 - Histogramas totais de distribuição do PCI - Pista - 01-19.	79

Lista de Tabelas

Tabela 3.1 - Caracterização da degradação: Pele de crocodilo.	39
Tabela 3.2 - Caracterização da degradação: Exsudação.	40
Tabela 3.3 - Caracterização da degradação: Fendas cruzadas (formando blocos).	40
Tabela 3.4 - Caracterização da degradação: Ondulação.	41
Tabela 3.5 - Caracterização da degradação: Depressões.	42
Tabela 3.6 - Caracterização da degradação: Erosão por “ <i>jet-blast</i> ”.	42
Tabela 3.7 - Caracterização da degradação: Fendas de reflexão no local das juntas da laje de betão (longitudinais e transversais).	43
Tabela 3.8 - Caracterização da degradação: Polimento de agregados.	43
Tabela 3.9 - Caracterização da degradação: Fendas longitudinais e transversais (excluindo as fendas devidas à existência de juntas de lajes de betão).	44
Tabela 3.10 - Caracterização da degradação: Derrame de óleo, combustível ou outros solventes.	44
Tabela 3.11 - Caracterização da degradação: Escorregamento lateral devido à existência de lajes rígidas.	45
Tabela 3.12 - Caracterização da degradação: Reparações e cortes técnicos.	45
Tabela 3.13 - Caracterização da degradação: Rodeiras.	46
Tabela 3.14 - Caracterização da degradação: Desagregação superficial do agregado.	46
Tabela 3.15 - Caracterização da degradação: Fendas em forma de “meia-lua”.	47
Tabela 3.16 - Caracterização da degradação: Empolamento.	47
Tabela 3.17 - Caracterização da degradação: Desagregação superficial do mástique (em misturas betuminosas densas).	48
Tabela 3.18 - Capacidade de suporte do solo de fundação, para efeitos do cálculo do ACN (AC 150/5335-5C, 2014).	56
Tabela 3.19 - Classificação da pressão máxima permitida nos pneus, para efeitos do cálculo do ACN (ICAO, 2013).	56
Tabela 3.20 - Métodos de avaliação (ICAO, 2013).	56
Tabela 3.21 - Frequência de medição do coeficiente de atrito (AC 150/5320-12C, 1997).	58

Tabela 3.22 - Valores mínimos para os três níveis de atrito: projeto, manutenção e mínimo (ICAO, 2002).....	59
Tabela 4.1 - Características da Pista 01-19.....	62
Tabela 4.2 - Número de unidades de amostra por secção.	66
Tabela 4.3 - Valores do PCI de cada unidade de amostra inspecionada.	77
Tabela 4.4 - Valores do PCI para cada secção.	77
Tabela 4.5 - Percentagem de área afetada pelas degradações mais frequentes.	80

Lista de Expressões

Exp. 3.1	Expressão para determinação do número mínimo de unidades de amostra a observar	50
Exp. 3.2	Expressão para a determinação do desvio padrão real do PCI	50
Exp. 3.3	Expressão para a determinação do espaçamento entre as unidades de amostra a inspecionar	51
Exp. 3.4	Expressão para a determinação da densidade percentual	51
Exp. 3.5	Expressão para a determinação do número de valores deduzidos	52
Exp. 3.6	Expressão para a determinação do PCI	52
Exp. 3.7	Expressão para a determinação do PCI de uma secção (unidades de amostra selecionadas)	53
Exp. 3.8	Expressão para a determinação da média ponderada do PCI das unidades de amostras adicionadas	53
Exp. 3.9	Expressão para a determinação do PCI de uma secção (unidades de amostra adicionadas)	54
Exp. 4.1	Expressão para determinar o ângulo φ	73
Exp. 4.2	Expressão para determinar a altura máxima da degradação	73

Lista de Acrónimos

A	Alto (nível de gravidade de uma degradação)
AC	<i>Advisory Circular</i>
ACN	<i>Aircraft Classification Number</i>
AIAC	Aeroporto Internacional Amílcar Cabral
AIP	<i>Aeronautical Information Publication</i>
ASA	Aeroportos Segurança Aérea S.A
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
B	Baixo (nível de gravidade de uma degradação)
CAL	Coeficiente de Atrito Longitudinal
CAT	Coeficiente de Atrito Transversal
DEMIA	Direção de Engenharia e Manutenção de Infraestruturas Aeroportuárias
Exp.	Expressão
FAA	<i>Federal Aviation Administration</i>
FOD	<i>Foreign Object Damage</i>
GVAC	Código ICAO do Aeroporto Internacional Amílcar Cabral
IATA	<i>International Air Transport Association</i>
ICAO	<i>International Civil Aviation Organization</i>
ILS	<i>Instrument Landing System</i>
M	Médio (nível de gravidade de uma degradação)
M&R	Manutenção e Reabilitação
PCC	<i>Portland Cement Concrete</i>
PCI	<i>Pavement Condition Index</i>
PCN	<i>Pavement Classification Number</i>
PMMS	<i>Pavement Maintenance Management System</i>
SGPA	Sistemas de Gestão de Pavimentos Aeroportuarios
SID	Código IATA do Aeroporto Internacional Amílcar Cabral
U.S.	<i>United States</i>
VOR	<i>Very high Frequency Omnidirectional Radio Range</i>

1 Introdução

1.1 Enquadramento e justificação do tema

A República de Cabo Verde é um país africano composto por 10 ilhas com uma localização geográfica privilegiada no Atlântico Norte. A sua população maioritariamente jovem e emigrante, em conjunto com o seu grande potencial turístico, são fatores que levaram à necessidade de serem criadas infraestruturas aeroportuárias adaptadas às necessidades de cada ilha.

Questões relacionadas com a acessibilidade entre ilhas e destas com o mundo justificam a existência atual de 4 aeroportos (nas ilhas do Sal, Santiago, São Vicente e Boavista) e de 3 aeródromos (nas ilhas do Fogo, Maio e São Nicolau). O transporte aéreo em Cabo Verde constitui assim um importante impulsionador da economia, pelo que urge gerir de forma eficaz e sustentada as 7 infraestruturas aeroportuárias existentes, em particular no que diz respeito aos seus pavimentos.

Tendo presente que os pavimentos aeroportuários se encontram constantemente sujeitos a ações que contribuem para a diminuição da sua qualidade, e que os mesmos assumem um papel importante para que o funcionamento do complexo aeroportuário decorra de forma segura, eficaz e eficiente, o acompanhamento do seu estado e a programação da sua conservação constituem uma das grandes preocupações das entidades que têm a cargo a sua gestão.

A implementação de um Sistema de Gestão de Pavimentos Aeroportuários (SGPA) permite abordar de forma sustentada a questão da gestão destes ativos, apoiando o administrador na tomada de decisão através da determinação de prioridades, da quantificação dos custos e da programação das atividades, desenvolvendo estratégias economicamente viáveis para a manutenção dos pavimentos. O objetivo final é o de garantir determinadas condições de serviço durante um dado período de tempo.

1.2 Objetivos

O trabalho proposto tem como objetivo contribuir, com base em sistemas de gestão de pavimentos aeroportuários de referência e nos recursos humanos e materiais disponíveis ou passíveis de serem adquiridos, para o desenvolvimento e implementação de um Sistema de Gestão de Pavimentos Aeroportuários adaptado à realidade de Cabo Verde. O desenvolvimento do SGPA permitirá auxiliar a tomada de decisões relativas a investimentos nos pavimentos das infraestruturas que compõe o Sistema de Aviação Civil de Cabo Verde.

No desenvolvimento do caso prático pretende-se comparar os resultados da avaliação do estado dos pavimentos obtidos a partir de duas abordagens de auscultação dos pavimentos: levantamento tradicional (a pé) e levantamento em veículo com recurso a protótipo equipado

com dispositivos de varrimento laser e de captação e registo de dados de imagem e de georreferenciação.

1.3 Estrutura da dissertação

A presente dissertação encontra-se dividida em cinco capítulos, sendo que este primeiro capítulo consiste numa breve justificação da escolha do tema. Inclui ainda os objetivos e a estrutura da dissertação.

O segundo capítulo é inteiramente dedicado à compreensão do tema dos SGPA. São apresentados os objetivos e os benefícios dum SGPA, a sua estrutura geral e é feita a descrição dos diferentes módulos que a compõe.

No terceiro capítulo são abordados conceitos importantes sobre os pavimentos aeroportuários, nomeadamente: os tipos de pavimentos, as degradações a que estão sujeitos e como pode ser avaliado o seu estado.

No quarto capítulo apresenta-se o caso de estudo, o Aeroporto Internacional Amílcar Cabral. Inclui a descrição dos procedimentos adotados para o levantamento e tratamento dos dados relativos à caracterização do estado de conservação dos pavimentos da pista principal do aeroporto, e integra uma análise aos resultados obtidos.

No quinto capítulo apresentam-se as principais conclusões obtidas com o trabalho desenvolvido e incluem-se alguns aspetos a melhorar no futuro.

2 SISTEMAS DE GESTÃO DE PAVIMENTOS AEROPORTUÁRIOS

Sistemas de Gestão de Pavimentos Aeroportuários são um conjunto de procedimentos consistentes, objetivos e sistemáticos cujo intuito passa pela avaliação, acompanhamento, suporte e estabelecimento de prioridades no processo de tomada de decisões economicamente viáveis para a manutenção e reabilitação (M&R) dos pavimentos aeroportuários (AC 150/5380-7B, 2014).

O conceito de *Pavement Maintenance Management System* (PMMS), foi originalmente desenvolvido pelo U.S. Construction Engineer Research Laboratory na década de setenta, tendo sido financiado pela *Federal Aviation Administration* (FAA) (U.S Army Corps of Engineer, 2014). As aplicações informáticas mais recentes, disponibilizam um conjunto de recursos de gestão de pavimentos que permitem:

- (1) desenvolver e organizar dados sobre os pavimentos aeroportuários;
- (2) avaliar o estado atual dos pavimentos;
- (3) desenvolver modelos de previsão do estado futuro dos pavimentos;
- (4) armazenar informações sobre o desempenho do pavimento (passado e futuro);
- (5) desenvolver estratégias de manutenção e reabilitação (M&R) com base em orçamentos ou outros requisitos;
- (6) analisar as consequências de diferentes cenários de orçamento;
- (7) e o planeamento do projeto.

Várias empresas desenvolveram programas semelhantes utilizando o mesmo conceito de prestação de serviços de avaliação e gestão de pavimentos aeroportuários, tendo em conta os recursos humanos e materiais disponíveis, como o FAA PAVEAIR (AC 150/5380-7B, 2014) e entre outros.

Recentemente, em Portugal vem sendo desenvolvidos e implementados SGPA, orientados para funcionar ao nível da rede e com objetivo de minimizar os custos tidos em operações de conservação e reabilitação. Algumas foram desenvolvidas no âmbito de dissertações com o intuito de associar a teoria a prática, como o caso do Aeroporto de Lisboa (Fernandes, 2010) e do Aeródromo Municipal Gonçalves Lobato (Barros, 2008).

Em Cabo Verde, até a data, ainda não tinha sido introduzido o conceito de sistema de gestão de pavimentos aeroportuários, daí a necessidade de desenvolver e implementar um SGPA estruturado e organizado.

2.1 Objetivos e benefícios de um SGPA

O principal objetivo de um SGPA é apoiar os técnicos na tomada de decisões, traçando estratégias eficientes e económicas de conservação, manutenção e previsão, ao longo do tempo, mantendo assim a rede de pavimentos sob padrões aceitáveis de utilização e garantindo segurança aos operadores.

A sua implementação e funcionamento permite obter um inventário dos dados disponíveis sobre o estado dos pavimentos constituintes do sistema. Os dados são armazenados numa única base de dados informatizada, de forma a facilitar a consulta e o cruzamento dos mesmos, permitindo examinar as tendências de deterioração do pavimento e adotar estratégias de manutenção a longo prazo. As estratégias de manutenção definidas são baseadas no comportamento e na evolução do estado do pavimento ao longo da sua vida, ou seja, um SGPA não só avalia o estado atual do pavimento, como também prevê a sua condição futura.

Após o estudo da tendência de deterioração do pavimento, a análise do custo do ciclo de vida do pavimento pode ser feita para várias alternativas de manutenção e reabilitação, permitindo determinar o momento ideal para a aplicação da melhor solução atendendo aos impactos gerados em termos de custos e benefícios.

A Figura 2.1 ilustra como um pavimento geralmente se deteriora e os custos relativos aos tipos de intervenções que vão sendo executados ao longo da sua utilização. Os pavimentos apresentam em geral um bom desempenho ao longo da sua vida útil, no entanto, assim que atingirem o chamado “estado crítico” começam a deteriorar-se rapidamente. Vários estudos demonstraram que a manutenção periódica de um pavimento é 4 a 5 vezes menos dispendiosa do que a reabilitação de um pavimento em mau estado e aumenta a vida útil do mesmo. Nos pontos onde a deterioração do pavimento aumenta significativamente, como consta na figura, corresponde ao momento ideal para intervir em termos de manutenção periódica ou de reabilitação. O número de anos que um pavimento permanece em “bom estado” antes de atingir o ponto de deterioração rápida depende de vários fatores como o tipo e qualidade da construção, do uso do pavimento, do clima e da manutenção (AC 150/5380-7B, 2014).

O SGPA permite assim administrar os recursos, determinando o nível de financiamento mais adequado, planificar as intervenções na rede em função da disponibilidade de recursos, definir o efeito do adiamento dos trabalhos de conservação sobre os custos da administração e assegurar a rentabilidade dos recursos disponíveis, utilizando um sistema de prioridades, baseado na comparação de custos e benefícios emergentes das diferentes alternativas possíveis (Fernandes, 2010).

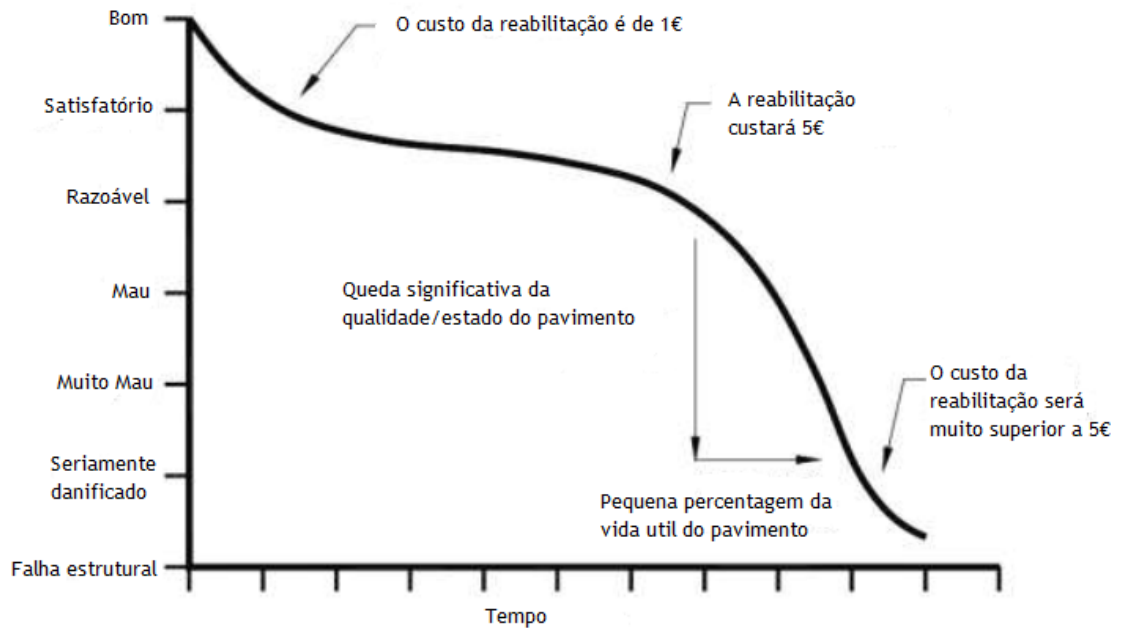


Figura 2.1 Degradação do estado de um pavimento aeroportuário ao longo do seu ciclo de vida (adaptado de AC 150/5380-7B, 2014).

Os benefícios proporcionados por um SGPA são vários. Entre eles é possível destacar (AC 150/5380-7B, 2014):

- O aumento da vida útil do pavimento;
- Permite uma avaliação objetiva e consistente do estado da rede de pavimentos;
- Proporciona uma base de dados de técnicas documentável e sistemática capaz de determinar as necessidades de M&R, incluindo as considerações sobre futuras operações necessárias e/ou planear projetos de expansão do aeroporto;
- Permite identificar e orçamentar as necessidades para manter a rede de pavimentos operacional;
- Documentação sobre o estado presente e a evolução futura dos pavimentos;
- Analisar o custo do ciclo de vida dos pavimentos para diversas alternativas de manutenção e reabilitação;
- Identificar o impacto de pequenas reparações no desempenho global da rede de pavimentos.

Convém salientar também que o sucesso de SGPA depende da proximidade entre os técnicos e os administradores dos recursos, para minimizarem as dificuldades e entenderem que as atividades de manutenção não significam apenas redução de custos, mas também garantem a segurança operacional e conservam o património.

2.2 Estrutura dos SGPA

O fluxograma que se apresenta na Figura 2.2. ilustra de forma simplificada os componentes de um SGPA. Para uma melhor compressão da função de cada componente de um SGPA e as respetivas ligações entre os mesmos, teve-se como base o *Washington Airport Pavement Management Manual* (Applied, 2013), o *Airport Pavement Management Program* (AC 150/5380-7B, 2014), na Dissertação de Mestrado intitulada “Sistemas de Gestão de Pavimentos Aeroportuários” (Fernandes, 2010) e o *Implementation of an Airport Pavement Management System* (TRB, 2008). O fluxograma corresponde a um SGPA orientado para funcionar ao nível da rede e ao nível de projeto em simultâneo. O desenvolvimento ou não de todos os componentes pertencentes a cada modulo irá depender do objetivo que se pretender atingir ao implementar o sistema.

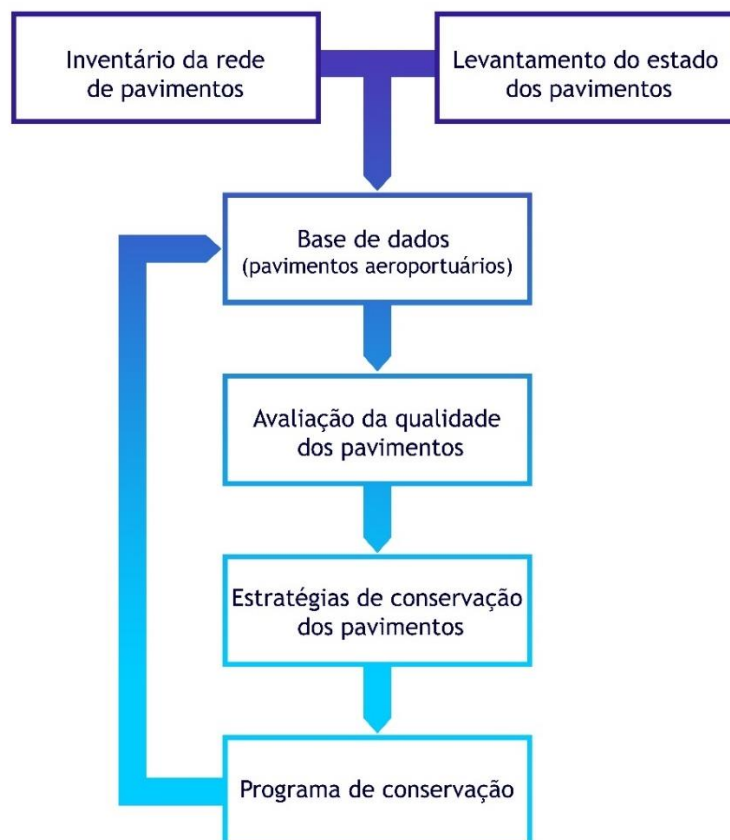


Figura 2.2: Fluxograma de um Sistema de Gestão de Pavimentos Aeroportuários (Applied, 2013).

2.2.1 Níveis de Gestão da Rede de Pavimentos Aeroportuários

Um SGPA permite tomar decisões eficazes ao nível da rede e ao nível de projeto, em simultâneo ou separadamente, dependendo da finalidade que se pretende com a sua implementação.

A gestão ao nível da rede requer uma avaliação do estado de todos os pavimentos que pertencem a rede, identificar as necessidades de M&R imediatas e futuras, determinar a respetiva prioridade de intervenção. Determinar as necessidades orçamentais a curto e longo prazo. Apenas uma inspeção visual as unidades de amostra representativas da rede de pavimentos são suficientes para a avaliação feita a este nível de gestão. Com bases nesses dados recolhidos, as áreas que necessitam de intervenção são selecionadas para M&R, não são desenvolvidos projetos específicos.

Na gestão ao nível de projeto, após a identificação das zonas que necessitam de intervenção (por exemplo um projeto de reabilitação da pista), são necessários ensaios adicionais como ensaios não destrutivos ou destrutivos para uma melhor caracterização/compreensão do estado do pavimento. Com base nos resultados obtidos podem ser selecionados tratamentos específicos para estas zonas do pavimento e estimativas de custos mais precisas podem ser desenvolvidas.

2.2.2 Inventário e levantamento do estado da rede de pavimentos

A observação dos pavimentos tem que ser obrigatoriamente incluída nos sistemas de gestão de pavimentos, uma vez que é essencial para a manutenção da base de dados. A eficiência do SGPA depende da qualidade dos dados sobre o estado da superfície e da estrutura dos pavimentos. Os dados devem ser objetivos, fiáveis, atualizados e organizados por categorias, permitindo assim a representação do comportamento da rede em cada fase da sua vida.

Durante o inventário é feita a recolha de todos os dados existentes sobre a rede de pavimentos, que devem ser fiáveis, atualizados e organizados. As informações normalmente recolhidas são:

- Dados sobre a localização e sobre as características da rede de pavimentos (a geometria transversal e longitudinal);
- O ano e o histórico da construção;
- O tipo de material e a espessura das camadas dos pavimentos;
- O historial de todas as M&R realizadas e os custos associados;
- O estado de conservação do sistema de drenagem e da sinalização;
- Os dados sobre o tráfego, como o tipo, o modelo e a configuração das aeronaves, assim como a frequência de operação, a classificação e a carga.

Os dados provenientes do levantamento das condições do pavimento, conseguidos através da avaliação funcional e estrutural, envolvendo a identificação de irregularidades, degradações, da capacidade de suporte e segurança, permitirão proceder à avaliação da qualidade dos pavimentos. Os mesmos devem ser continuamente atualizados.

2.2.3 Base de Dados dos Pavimentos Aeroportuários

Após a recolha das informações, deve-se desenvolver a base de dados, que permitirá armazenar de forma informatizada e organizada toda a informação recolhida e produzida pelos diferentes componentes do SGPA, interrelaciona-los e trata-los seguindo os critérios dos utilizadores.

As informações inseridas na base de dados devem ser fiáveis e atualizadas, pois permitirão representar o desempenho dos pavimentos em cada fase da sua vida.

De um modo geral, o tratamento dos dados é feito de forma automática pelo sistema ou na sequência de um pedido de informação efetuado pelo utilizador. Na fase de utilização da base de dados, o pedido de informação é facilitado pela presença de “menus” de procura de informação. A extração da informação é apresentada sobre determinado suporte (quadro, gráfico, cartas temáticas) (Fernandes, 2010).

2.2.4 Avaliação da Qualidade dos Pavimentos Aeronáuticos

A análise dos dados recolhidos durante as inspeções feitas à rede de pavimentos e dos ensaios feitos ao mesmo, permitem determinar índices relacionados com a qualidade estrutural (capacidade de suporte de carga e degradação estrutural) e funcional (segurança e conforto de circulação) que caracterizam o estado dos pavimentos.

A inspeção à rede de pavimentos ao longo do tempo, com uma frequência adequada, permite monitorizar a evolução do estado dos pavimentos que constitui uma das tarefas fundamentais dum SGPA.

A gestão a nível de projeto requer informações mais detalhadas, logo, para compreender melhor os dados estruturais poderão ser necessários a realização de ensaios destrutivos como a extração de carotes ou execução de poços de inspeção. Para a gestão a nível de rede, uma avaliação visual das condições da superfície dos pavimentos é normalmente suficiente (Applied, 2013).

O método de avaliação mais usado ao nível da rede é o Pavement Condition Index (PCI). Um método de avaliação global que através de um único índice numérico, determinado com base nas degradações observadas, traduz as condições funcionais e estruturais do pavimento. A partir desse índice é possível estabelecer metas quanto às necessidades de manutenção e recuperação dos pavimentos, bem como do desempenho em serviço. Foi originalmente desenvolvido para pavimentos aeroportuários pelo grupo de engenheiros do exército americano (*United States Army Corps of Engineers*) através de um financiamento atribuído pelo *US Air Force* (ASTM D 5340, 2012).

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

funcionalidade), para a realização de análises económicas de alternativas de conservação e definição de prioridades.

2.2.5 Estratégia de conservação dos pavimentos

Dependendo dos objetivos a atingir com a implementação do SGPA, este componente tem como finalidade:

- Definir prioridades de conservação do pavimento;

Um dos dilemas que, em geral, se coloca aos responsáveis da administração aeroportuária é a insuficiência de recursos financeiros para preservar a rede (ou redes) de pavimentos com o nível de qualidade desejado, sendo necessário tomar decisões quanto aos ramos ou secções a serem beneficiados perante determinado orçamento disponível

Ao nível da rede é necessário definir prioridades de conservação do pavimento e determinar o orçamento necessário para a sua manutenção ou reabilitação. Para determinar as prioridades são consideradas apenas alguns fatores como o estado de conservação (estrutural e funcional) dos pavimentos da rede (normalmente o único que é tido em conta) e o tipo de tráfego a que estão expostos.

Ao nível de projeto, a definição das prioridades de conservação considera todos os fatores técnicos e económicos a curto, a médio e a longo prazo, através da utilização dos modelos de comportamento existente nos sistemas de gestão, permitindo assim simular os efeitos de diferentes estratégias de conservação. Estes instrumentos possibilitam a determinação dos investimentos necessários face a determinados padrões de qualidade e a determinados recursos disponíveis, favorecendo tanto a administração como os utilizadores do aeroporto (Fernandes, 2010).

- Desenvolver modelos de previsão da evolução do estado do pavimento

A previsão do estado do pavimento é conseguida com recurso aos modelos de previsão da evolução do comportamento dos pavimentos (abreviadamente designados de modelos de comportamento) e a princípios básicos de avaliação económica (de forma a melhorar a afetação dos recursos financeiros disponibilizados para este fim), tendo em conta os custos associados à gestão de pavimentos.

Os modelos de previsão do comportamento dos pavimentos possibilitam elaborar um cenário evolutivo do estado de conservação da rede, permite traçar várias estratégias de reabilitação. Estes planos, uma vez apoiados por análises económicas, permitem fazer uma avaliação estratégica e de aplicação de recursos que leva finalmente ao programa de conservação dos pavimentos aeronáuticos (Fernandes, 2010). A escolha do modelo mais adequado depende da quantidade de informação disponível e do tipo de software de gestão da rede de pavimentos adotado.

Num SGPA o desenvolvimento de modelos de comportamento dos pavimentos constitui a fase mais difícil da sua implementação, sendo ainda considerada a sua componente menos fiável.

- Análise económica de estratégias de conservação dos pavimentos;

A análise económica de estratégias de conservação dos pavimentos tem como finalidade suportar as decisões quanto à escolha de alternativas de construção e de conservação mais rentáveis, atendendo à relação custo-benefício e a aspetos técnico-económicos avaliados para o ciclo de vida dos pavimentos (Fernandes, 2010).

Para que seja possível definir estratégias que proporcionem padrões elevados de qualidade, tanto de construção como de conservação ao longo do ciclo de vida do pavimento, é necessário fazer uma “Análise de Custo Total”, isto porque a desativação dos pavimentos aeronáuticos é bastante penalizante em termos de custos, quer para o administrador, quer para os utilizadores.

Alguns investigadores acreditam que, caso forem apenas considerados os custos para a administração e para o utilizador, outros gastos importantes serão negligenciados. Na Figura 2.3 apresenta-se um modelo de “Análise de Custo Total” do ciclo da vida de um pavimento aeroportuário (McNerney, et al., 1995). O modelo considera como dados de entrada os elementos constituintes da rede de pavimentos e o impacto dos trabalhos de construção e conservação nas operações aeroportuárias

Seriam ainda tidos em conta nos dados de entrada, os “Custos Externos”, muitos vezes não são contabilizados, mas são indicadores importantes dos aspetos ambientais. Os “Custos Externos Locais” inclui os custos do ruído associado ao estacionamento e período de espera das aeronaves bem como o custo da poluição do ar. Os “custos da área exterior do aeroporto”, engloba o aumento da poluição nas imediações do aeroporto associado ao tempo que as aeronaves esperam para obterem a permissão de aterragem em pistas com muita afluência.

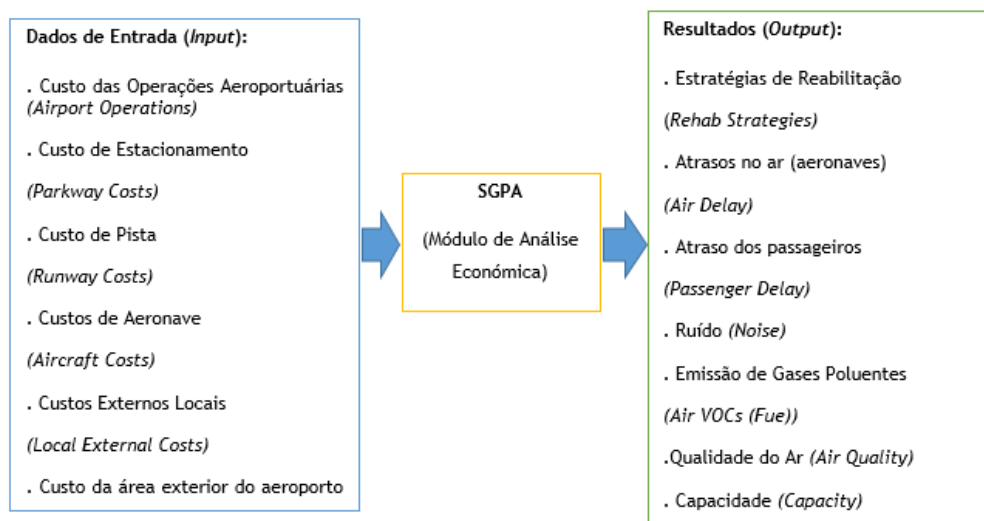


Figura 2.3 - Dados de entrada e resultados de uma “Análise do Custo Total” do ciclo de vida de um pavimento aeroportuário (Adaptado McNerney, et al., 1995).

Nos resultados, o mais importante são as “Estratégias de Reabilitação”. Baseia na tentativa de minimizar os custos totais tendo em conta uma ampla gama de categorias do que é atualmente utilizado na análise econômica. Considera ainda os custos associados ao atraso das aeronaves e dos passageiros, níveis de ruído e de qualidade associado ao padrão de exploração, o aumento do custo de combustível resultante das filas de aterragem/descolagem e da capacidade do aeroporto. A análise dos custos associados à gestão da manutenção de pavimentos aeroportuários é de facto muito complexa, verificando-se em geral, por uma questão de simplificação, a adoção de abordagens baseadas nas utilizadas no sector rodoviário (adaptadas para o domínio aeroportuário) (McNerney, et al., 1995).

2.2.6 Programa de conservação

O programa de conservação estabelece o tipo de intervenção a nível de cada ramo ou secção, devidamente localizada no espaço e no tempo, e os respetivos pormenores do projeto de execução. A correta referenciação das ações de conservação realizadas ao longo da rede é essencial para estudos posteriores, em particular para os de avaliação do comportamento de cada ação de conservação.

Toda a informação que possa ser essencial para a compreensão do comportamento futuro dos pavimentos deve ser recolhida durante a fase de implementação do programa de conservação, em especial, dados sobre as condições de realização dos trabalhos, as características físicas e mecânicas dos materiais utilizados e a geometria da nova camada de desgaste. A introdução destes novos dados no sistema permitirá apoiar a melhoria dos modelos de comportamento, tornando-os mais viáveis para futuras aplicações (Fernandes, 2010).

Terminada a implementação do programa de conservação, iniciam-se de novo as campanhas de observação periódicas dos pavimentos, de forma a atualizar a base de dados do sistema e a avaliar a eficiência de cada ação de conservação efetuada, contribuindo para o desenvolvimento das técnicas e da tecnologia de construção.

Com a definição do programa o sistema completa um ciclo de gestão.

3 AVALIAÇÃO DO ESTADO DOS PAVIMENTOS AEROPORTUÁRIOS

3.1 Introdução

A avaliação do estado dos pavimentos é um requisito fundamental para uma gestão eficaz destes ativos. Tem como finalidade a obtenção de dados, informações e parâmetros que permitam identificar em que fase da vida útil se encontra o pavimento, aferir sobre o seu desempenho e diagnosticar os problemas atuais e futuros. Após a recolha e tratamento dos dados é possível programar diferentes estratégias de manutenção e prever possíveis intervenções, sustentando uma conservação atempada e otimizada.

3.2 Pavimentos aeroportuários

Os pavimentos aeroportuários são projetados e construídos para suportar as cargas críticas impostas pelas aeronaves, para resistir às condições atmosféricas a que estão sujeitos, assim como a outras ações desfavoráveis (como o derrame de combustível, óleo, etc.), e para garantir conforto e segurança ao usuário (AC 150/5380-6C, 2014). Tal só é possível se as camadas constituintes do pavimento forem construídas com materiais de qualidade, apresentarem espessura suficiente e se o mesmo estiver sujeito a inspeções, manutenções regulares e reabilitação ao longo da sua vida.

Normalmente são utilizados dois tipos de pavimentos, os flexíveis e os rígidos. A maior diferença entre os mesmos é o modo de dissipação das cargas atuantes.

No desenvolvimento do catalogo de degradações e do processo de calculo do PCI, incluídos no presente capítulo, considerou-se apenas os pavimentos flexíveis, por ser o tipo de pavimento estudado no caso pratico.

3.2.1 Pavimentos Flexíveis

Este tipo de pavimentos é normalmente utilizado nas pistas e caminhos de circulação devido às suas boas características de aderência (previne a hidroplanagem das aeronaves), regularidade e conforto (Fernandes, 2010).

São constituídos por várias camadas de materiais granulares e betuminosos, selecionados cuidadosamente, sendo concebidos para distribuir gradualmente as cargas a partir da superfície do pavimento para as camadas inferiores, não ultrapassando a capacidade de carga de cada uma, ou seja, a resistência à deformação decresce com a profundidade (ver Figura 3.1) (AC 150/5380-6C, 2014).

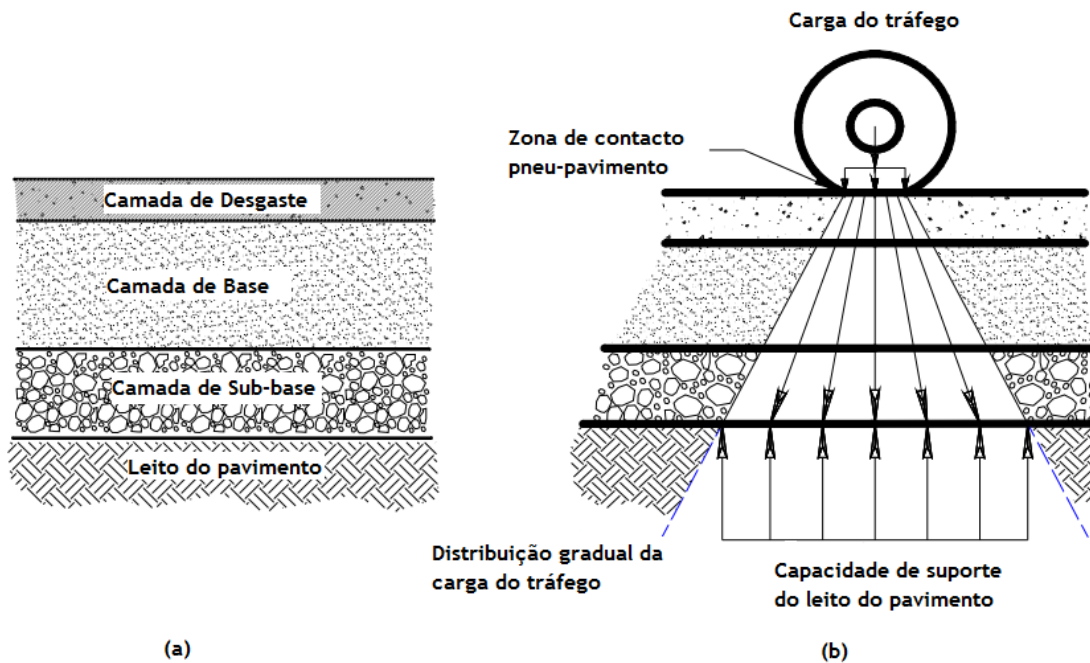


Figura 3.1: (a) Estrutura típica de um pavimento flexível; (b) Distribuição da carga do tráfego em pavimentos flexíveis (adaptado de AC 150/5380-6B, 2007).

Estes pavimentos são em geral constituídos pelas seguintes camadas:

- Camada de desgaste (ou camada superficial) e de regularização - constituídas por agregados seleccionados ligados por ligante betuminoso segundo o especificado na Parte 5 - Secção P-401 da AC 150/5379-10G (AC 150/5370-10G, 2014)). Deve apresentar uma superfície uniforme; textura antiderrapante que não cause desgaste excessivo dos pneus; não apresentar partículas soltas que possam por em risco as aeronaves ou as pessoas; ser impermeável de forma a não permitir a infiltração de água para as camadas inferiores; resistir às cargas aplicadas pelo tráfego e transmiti-las as camadas inferiores (AC 150/5380-6C, 2014).
- Camada de base - principal componente estrutural do pavimento, tem como função principal distribuir as cargas a que está sujeita para as camadas inferiores, sub-base e leito de pavimento. Deve dispor de uma espessura suficiente para resistir as forças de compressão impostas pelo tráfego, evitando que o pavimento atinja o estado de limite último. A qualidade da camada depende dos materiais que a compõem (propriedades físicas) e da compactação, podendo ainda ser estabilizada ou não com ligantes hidráulicos ou betuminosos, transformando o pavimento respetivamente numa estrutura semirrígida ou semi-flexível (Fernandes, 2010).
- Camada de sub-base - tem como principal finalidade fazer a transição e distribuição das cargas do tráfego entre as camadas superficiais do pavimento e o leito do pavimento, encontrando-se sujeita a cargas menos intensas. É constituída por material

granular ou estabilizado com ligante hidráulico (betão pobre, solo-cimento) adequadamente compactado, mas de pouco valor económico.

- Leito do pavimento - camada de solo natural compactado que forma a base da secção do pavimento. Esta camada esta sujeita a tensões muito inferiores do que a camada de desgaste, base e sub-base, isto porque as tensões impostas pelo tráfego diminuem com a profundidade, ou seja, estas camadas devem apresentar espessura suficiente para reduzir as tensões que chegam a camada de leito de pavimento para valores que não causarão o deslocamento da camada.

3.2.2 Pavimentos Rígidos

Os pavimentos rígidos são utilizados nas placas de estacionamento das aeronaves devido à sua maior resistência ao derrame de combustíveis, óleos e lubrificantes (Fernandes, 2010). São constituídos por uma camada superficial de betão de cimento *portland* (*Portland cement concrete* (PCC)) com elevada resistência a flexão que dissipa as cargas verticais sobre uma grande área com pressões muito reduzidas evitando que o pavimento sofra deformações acentuadas, mesmo no caso de estarem sujeito a elevadas temperaturas, a tráfego pesado e intenso (Fernandes, 2010); e por uma base e sub-base granular (Figura 3.2).

De modo a facilitar os movimentos de expansão e de contração das lajes de betão e evitar a sua fendilhação as lajes são subdivididas em várias partes por juntas, devidamente seladas por materiais elásticos e impermeáveis de forma a impedir a infiltração de água e materiais incompressíveis.

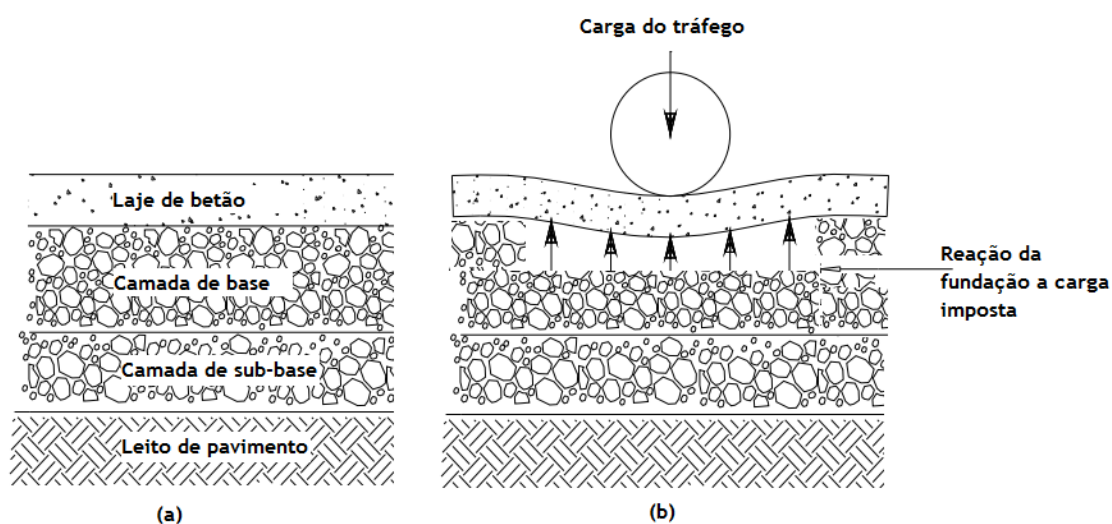


Figura 3.2: (a) Estrutura típica de pavimento rígido; (b) Distribuição da carga do tráfego num pavimento rígido (adaptado de AC 150/5380-6B, 2007).

São em geral constituídos pelas seguintes camadas:

- Laje de betão (camada de desgaste) - a laje de betão deve apresentar uma superfície resistente e antiderrapante que absorve as cargas impostas ao pavimento, dissipando-as por uma grande área da mesma. Deve garantir a impermeabilidade do pavimento para que não ocorram infiltrações da água superficial para as camadas inferiores. A camada pode apresentar uma das seguintes configurações; betão não armado, betão armado, betão armado contínuo ou betão pré-esforçado (AC 150/5380-6C, 2014).
- Camada de base - proporciona à laje de betão um suporte estável e uniforme, serve para controlar a ação destrutiva do gelo, pode assegurar uma função de drenagem subterrânea, controla a dilatação da camada de sub-base e o controlo da subida de materiais finos para a superfície. Todo o pavimento previamente projetado para suportar aeronaves muito pesadas deve ter uma base estabilizada. Pavimento rígido requer no mínimo 10 cm de espessura (AC 150/5380-6C, 2014).
- Camada de sub-base - usada em zonas onde o pavimento se encontra sujeito a ciclos de gelo e degelo muito severos ou o solo de fundação é fraco. Apresenta as mesmas funções que a camada de base, mas as exigências de material não são tão rigorosas como da camada de base, porque esta é sujeita a cargas de tensões mais baixas. As características dos materiais granulares que o constituem não são tão nobres como os materiais usados na camada de base. Devem ser adequadamente compactadas (AC 150/5380-6C, 2014).
- Leito de pavimento - camada de solo que forma a fundação da secção do pavimento. A estrutura do pavimento (camadas) deve ser capaz de dissipar cargas impostas pelo tráfego para valores baixos o suficiente para prevenir a deformação e deslocamento excessivo da camada de solo do leito de pavimento.

3.3 Degradações superficiais dos pavimentos aeroportuários flexíveis


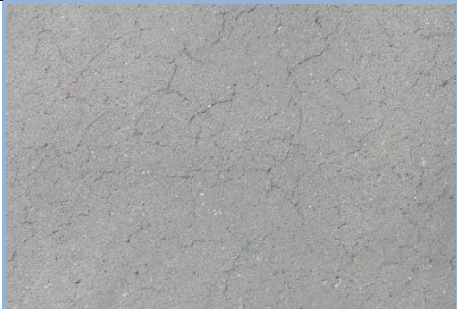

Os pavimentos aeronáuticos encontram-se expostos, logo após a sua construção, a ações que contribuem para a redução progressiva da sua qualidade inicial. Uma degradação não evolui sozinha, da origem a novos tipos de degradações que por sua vez interferem nas características da primeira.

Estas ações são traduzidas por um conjunto de fatores que influenciam a evolução do estado e das degradações dos pavimentos, como o tráfego (carga atuante) e o clima (variações de temperatura). Outros fatores, como os erros de construção, podem alterar as características dos materiais originando um ciclo de evolução das degradações, quer para os pavimentos rígidos como para os pavimentos flexíveis.

Apresentam-se nas Tabelas 3.1 a 3.17 as degradações típicas dos pavimentos flexíveis, as suas causas possíveis, os níveis de gravidade e como podem ser avaliadas.

O conjunto de degradações e as descrições consideradas baseiam-se na informação constante nas normas ASTM D 5340 (2012), AC 150/5380-6C (2014), AC 150/5380-7B (2014) e no manual “Asphalt Surfaced Airfields (U.S Army Corps of Engineers, 2009), PAVER™ Distress Identification Manual” (U.S Army Corps of Engineer, 2014).

Tabela 3.1 - Caracterização da degradação: Pele de crocodilo.

Pele de crocodilo		
Descrição da degradação	Conjunto de fendas causadas pela atuação repetida das cargas do tráfego. As fendas têm origem na base das camadas betuminosas, propagam-se paralelamente até atingirem a superfície e interligam-se segmentando o pavimento num padrão semelhante a pele de crocodilo, com uma malha inferior a 0,6 metros.	
Causas possíveis	A repetição ou o aumento das cargas de tráfego origina na base das camadas betuminosas, por ser o local onde as tensões e extensões são máximas, uma falha por fadiga que se estende à superfície e evolui até ao estado de pele de crocodilo. Ocorre em locais submetidos a repetidas cargas.	
Níveis de gravidade	Baixo (B)	 Conjunto de fendas longitudinais com poucas ou nenhuma ramificações que se propagam paralelamente ao longo do pavimento.
	Médio (M)	 Padrão de fendas bem definido e interligado com o aspeto tipo “Pele de crocodilo”.
	Alto (A)	 Padrão de fendas bem definido, pode eventualmente haver desagregação. Elevado potencial de <i>foreign object damage</i> (FOD).
Como avaliar?	Mede-se a área da superfície afetada (m ²). Caso sejam constatados diferentes níveis de gravidade, estes devem ser registados separadamente. Caso não seja fácil distingui-los, a área total deve ser registada como tendo o nível de gravidade mais condicionante.	

As imagens que exemplificam os níveis de gravidade da degradação apresentado, foram tiradas durante as inspeções feitas aos pavimentos do Aeroporto Internacional Amílcar Cabral. Não foi

possível apresentar as imagens exemplificativas em todos os catálogos, porque nem todas as degradações foram registadas.

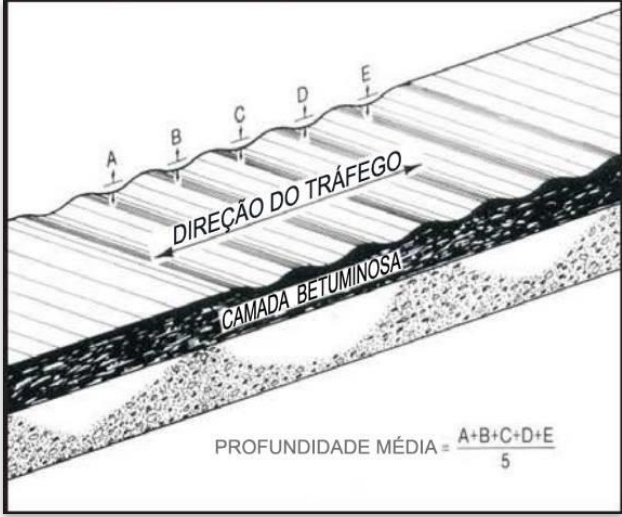
Tabela 3.2 - Caracterização da degradação: Exsudação.

Exsudação	
Descrição da degradação	Aparecimento de material betuminoso à superfície do pavimento, tornando-o brilhante e pegajoso.
Causas possíveis	Pode ocorrer devido a um excesso de betume ou a um baixo índice de vazios na mistura betuminosa. Verifica-se quando há um aumento de temperatura e o betume preenche os espaços vazios. Por ser um processo não reversível, quando há uma diminuição da temperatura o betume irá acumular-se à superfície do pavimento.
Nível de gravidade	Não se definem níveis de gravidade.
Como avaliar?	Mede-se a área da superfície afetada (m ²). Registada quando se verifica uma diminuição da aderência do pavimento.

Tabela 3.3 - Caracterização da degradação: Fendas cruzadas (formando blocos).

Fendas cruzadas (formando blocos)		
Descrição da degradação	Fissuras interligadas que dividem o pavimento em blocos aproximadamente retangulares. Podem variar de tamanho entre 0,3x0,3 m e 3,0x3,0 m.	
Causas possíveis	Retração do pavimento devido à idade e aos ciclos diários de variação da temperatura. Não esta associada à aplicação de cargas.	
Níveis de gravidade	Baixo (B)	Pouca ou nenhuma desagregação. Fendas não preenchidas com abertura média máxima de 6 mm. Nenhum potencial de FOD.
	Médio (M)	Fendas moderadamente desagregadas ou não. Fendas não preenchidas e não desagregadas ou ligeiramente desagregadas, mas com abertura média superior a 6 mm. Fendas preenchidas e não desagregadas ou ligeiramente desagregadas, cujo enchimento encontra-se em mau estado. Pouco potencial de darem origem a FOD.
	Alto (A)	Fendas bem definidas e severamente desagregadas; Elevado potencial de FOD.
Como avaliar?	Mede-se a área da superfície afetada (m ²). Caso se verifiquem diferentes níveis de gravidade devem ser contabilizados separadamente. Nos pavimentos flexíveis, as fendas cruzadas devem ser registadas separadamente das fendas longitudinais e transversais.	

Tabela 3.4 - Caracterização da degradação: Ondulação.

Ondulação	
Descrição da degradação	Série de elevações e depressões perpendiculares ao fluxo do tráfego. Ocorrem de forma bastante regular em intervalos de comprimento máximo de 1,5m.
Causas possíveis	A ação das cargas do tráfego associada a uma fundação instável ou mal compactada.
Níveis de gravidade	Baixo (B) Ondulação insignificante que praticamente não afeta a qualidade da circulação do tráfego. [< 6mm*; < 13mm**]
	Médio (M) Ondulação visível que afeta significativamente a qualidade da circulação do tráfego. [6 a 13mm*; 13 a 25mm**]
	Alto (A) Ondulação facilmente notável que afeta severamente a circulação do tráfego. [>13mm*; >25mm**]
Como avaliar?	<p>Mede-se a área afetada (m²). O nível de gravidade depende da altura média entre o topo e a base da ondulação. Para a sua medição é necessária uma régua de 3m, que deve ser colocada na perpendicular ao desenvolvimento da ondulação para que a profundidade seja medida em milímetros (por uma régua vertical de 30cm). A altura média é determinada a partir de 5 medições.</p> 

* Altura média a considerar nas pistas e corredores rápidos de circulação (runways and high-speed taxiways).

** Altura média a considerar nos corredores de circulação e placas de estacionamento (taxiways and aprons).

Tabela 3.5 - Caracterização da degradação: Depressões.

Depressões		
Descrição da degradação	Depressões são rebaixamentos existentes na superfície do pavimento, são áreas facilmente perceptíveis após a ocorrência de chuva devido à formação de pequenas poças de água, podendo provocar a hidroplanagem das aeronaves. Podem ser também identificadas em tempo seco pelas manchas deixadas pelas poças de água.	
Causas possíveis	Erros de compactação durante a construção ou assentamento do solo de fundação.	
Níveis de gravidade	Baixo (B)	A depressão é visível apenas através de manchas de água existentes na superfície do pavimento. Afeta ligeiramente a qualidade de circulação. Correspondem a situações de baixo risco de hidroplanagem nas pistas. [3 a 13 mm*; 13 a 25 mm**]
	Médio (M)	A depressão pode ser observada em quaisquer condições, afeta de forma moderada a circulação no pavimento e nas pistas existe um risco moderado de hidroplanagem. [13 a 25mm*; 25 a 51mm**]
	Alto (A)	A depressão é facilmente observável, afeta de forma severa a qualidade da circulação no pavimento e existe um risco elevado de hidroplanagem. [>25mm*; >51mm**]
Como avaliar?	Mede-se a área da superfície afetada (m ²). A profundidade máxima da depressão determina o nível de gravidade. É medida apoiando uma régua de 3m sobre o diâmetro do rebaixamento e com recurso a uma régua colocada na vertical para medição da profundidade em milímetros. Depressões com largura superior a 3m devem ser medidas por estimativa visual ou por medição direta quando se encontra cheia de água.	

Profundidade a considerar nas *pistas e nos **caminho de circulação e parque de estacionamento.

Tabela 3.6 - Caracterização da degradação: Erosão por “jet-blast”.

Erosão por “jet-blast”	
Descrição da degradação	Zonas escuras existentes na superfície do pavimento.
Causas possíveis	Carbonização do betume ao ser atingido pelos gases quentes de um avião a jato. A profundidade dessas áreas queimadas pode variar até aproximadamente 13mm.
Nível de gravidade	Não são considerados níveis de gravidade, sendo suficiente indicar a existência da degradação.
Como avaliar?	Mede-se a área da superfície afetada (m ²).

Tabela 3.7 - Caracterização da degradação: Fendas de reflexão no local das juntas da laje de betão (longitudinais e transversais).

Fendas de reflexão no local das juntas da laje de betão (longitudinais e transversais)	
Descrição da degradação	Degradação típica dos pavimentos constituídos por uma camada betuminosa sobre uma laje de betão (pavimento misto). Não inclui as fendas de reflexão devido a camadas de base constituídas por outro material. As fendas devem ser registadas como fissuras longitudinais ou transversais.
Causas possíveis	Fendas causadas pelo movimento de retração e expansão da laje de betão devido a variação da temperatura e da humidade. O seu aparecimento não está associado às cargas do tráfego, no entanto, a passagem do tráfego pode levar a desagregação do betuminoso perto das fendas, causando o despendimento de materiais e aumentando o potencial de FOD. Conhecendo as dimensões das lajes de betão é possível identificar este tipo de fendas.
Níveis de gravidade	<p>Baixo (B)</p> <p>Fendas com bordos levemente desagregados, preenchidas ou não. Fendas não preenchidas com largura igual ou inferior a 6mm. As fendas preenchidas podem apresentar qualquer largura desde que o material de preenchimento esteja em bom estado. Pouco ou nenhum potencial de FOD.</p>
	<p>Médio (M)</p> <p>Fendas com bordos moderadamente desagregados, preenchidas ou não preenchidas de qualquer largura e com algum potencial de FOD. Fendas com ligeira ou nenhuma desagregação, mas apresentando material de preenchimento muito deteriorado. Fendas não preenchidas, ligeiramente ou nada desagregadas, mas com largura média superior a 6mm. Ligeira desagregação nos bordos das fendas ou nas zonas de interseção entre fendas.</p>
	<p>Alto (A)</p> <p>Fendas severamente desagregadas, preenchidas ou não e de qualquer largura. Claro potencial de FOD.</p>
Como avaliar?	Mede-se o seu desenvolvimento em metros lineares. O comprimento e o nível de gravidade de cada fenda devem ser identificados e registados. Se a fenda apresenta diferentes níveis de gravidade ao longo do seu desenvolvimento, os níveis de gravidade devem ser registados separadamente. Caso não seja possível identificar os diferentes níveis presentes, a fenda deve ser registada com o nível mais grave identificado.

Tabela 3.8 - Caracterização da degradação: Polimento de agregados.

Polimento de agregados	
Descrição da degradação	Desgaste da superfície do pavimento. Numa análise mais profunda do pavimento pode-se constatar que os agregados presentes na superfície são muito pequenos ou não são ásperos ou angulares de forma a proporcionar boa resistência à derrapagem.
Causas possíveis	Carbonização do betume ao ser atingido pelos gases quentes de um avião a jato. A profundidade dessas áreas queimadas pode variar até aproximadamente 13mm.
Nível de gravidade	Não são considerados níveis de gravidade, sendo suficiente indicar a existência da degradação.
Como avaliar?	Passagem repetida do tráfego.

Tabela 3.9 - Caracterização da degradação: Fendas longitudinais e transversais (excluindo as fendas devidas à existência de juntas de lajes de betão).

Fendas longitudinais e transversais (excluindo as fendas devidas à existência de juntas de lajes de betão)		
Descrição da degradação	São consideradas, as fendas longitudinais as que surgem na direção da pavimentação. As fendas transversais são aproximadamente perpendiculares à linha central do pavimento, ou seja, aproximadamente perpendiculares ao sentido de pavimentação. Se o pavimento junto às fendas se encontra fragmentado, a fenda é considerada desagregada.	
Causas possíveis	Incorreta construção do pavimento. Retração da camada betuminosa devido a variações de temperatura. Fenda com origem nas das camadas inferiores, incluindo as fissuras que ocorrem nas lajes de PCC (fora do local das juntas). O seu aparecimento não está relacionado com a aplicação das cargas do tráfego.	
Níveis de gravidade	Baixo (B)	Fendas com bordos moderadamente desagregados, preenchidas ou não, de qualquer largura e com algum potencial de FOD. Fendas preenchidas com ligeira ou nenhuma desagregação dos bordos, mas com material de preenchimento muito deteriorado. Fendas não preenchidas, ligeiramente ou nada desagregadas, mas com abertura média superior a 6mm. Pequenas fendas aleatórias junto da fenda principal ou na interseção das fendas. A largura média da área desagregada junto à fenda está compreendida entre os 6 e os 25 mm.
	Médio (M)	Fendas com bordos severamente desagregados, podem ser preenchidas ou não e de qualquer largura. Claro potencial de FOD. A largura média da área desagregada junto à fenda é superior a 25 mm.
	Alto (A)	Mede-se o seu desenvolvimento em metros lineares. O comprimento e o nível de gravidade de cada fenda devem ser registados e identificados. Se a fenda não apresentar o mesmo nível de gravidade ao longo de todo o seu desenvolvimento, cada nível de gravidade deve ser registado separadamente. Caso não seja possível identificar os diferentes níveis de gravidade presentes, a fenda deve ser registada com o nível mais grave identificado.
Como avaliar?	Mede-se o seu desenvolvimento em metros lineares. O comprimento e o nível de gravidade de cada fenda devem ser registados e identificados. Se a fenda não apresentar o mesmo nível de gravidade ao longo de todo o seu desenvolvimento, cada nível de gravidade deve ser registado separadamente. Caso não seja possível identificar os diferentes níveis de gravidade presentes, a fenda deve ser registada com o nível mais grave identificado.	

Tabela 3.10 - Caracterização da degradação: Derrame de óleo, combustível ou outros solventes.

Derrame de óleo, combustível ou outros solventes	
Descrição da degradação	Deterioração da superfície do pavimento e amaciamento do betume.
Causas possíveis	Derrame de combustível, óleo ou outro solvente.
Nível de gravidade	Não são definidos níveis de gravidade, bastando indicar a existência da degradação.
Como avaliar?	Mede-se a área da superfície afetada (m ²). Uma mancha não é considerada uma degradação, exceto no caso de perda de rigidez e despreendimento de do betume ou de material.

Tabela 3.11 - Caracterização da degradação: Escorregamento lateral devido à existência de lajes rígidas.

Escorregamento lateral devido à existência de lajes rígidas		
Descrição da degradação	Os pavimentos constituídos por lajes rígidas eventualmente aumentam de comprimento, empurrando os pavimentos adjacentes betuminosos, fazendo-os empolar e fendilhar, dando origem ao escorregamento lateral.	
Causas possíveis	Dilatação das lajes de betão associado a um material de preenchimento das juntas incompressível. Este “crescimento” comprime e eleva o pavimento flexível na zona da junta.	
Níveis de gravidade	Baixo (B)	Ligeira dilatação da laje de betão, com pouco efeito na qualidade de circulação do tráfego e sem fendilhamento do pavimento. Altura média do empolamento inferior a 19mm.
	Médio (M)	Dilatação significativa da laje de betão, fendilhando do pavimento. Altura média do empolamento entre os 19mm e os 38mm.
	Alto (A)	Acentuada dilatação da laje de betão causando fendilhamento severo do pavimento. Altura média do empolamento superior a 38mm.
Como avaliar?	Mede-se a área afetada (m ²).	

Tabela 3.12 - Caracterização da degradação: Reparações e cortes técnicos.

Reparações e cortes técnicos		
Descrição da degradação	Uma reparação localizada no pavimento, proveniente do tratamento de alguma degradação existe anteriormente. É considerada uma degradação, quer tenha sido bem executada ou não.	
Níveis de gravidade	Baixo (B)	A reparação está em boas condições e foi realizada de forma adequada. Nenhum potencial de FOD.
	Médio (M)	A reparação encontra-se ligeiramente deteriorada, afetando a qualidade de circulação. Algum potencial de FOD.
	Alto (A)	A reparação encontra-se muito deteriorada, afetando significativamente a qualidade de circulação. Elevado potencial de FOD. A reparação necessita de intervenção.
Observação	O uso de misturas betuminosas densas bem graduadas em reparações de pavimentos de lajes rígidas causa um efeito de “barragem”, ou seja, favorece a acumulação de água junto da reparação, contribuindo para a diminuição da aderência na superfície do pavimento.	
Como avaliar?	Mede-se a área afetada (m ²). Caso a reparação apresente diferentes níveis de gravidade, as áreas devem ser medidas e registadas separadamente. Qualquer degradação dentro da área da reparação não deve ser registada, no entanto, na determinação do nível de gravidade da reparação devem ser considerados os efeitos das degradações existentes.	

Tabela 3.13 - Caracterização da degradação: Rodeiras.

Rodeiras		
Descrição da degradação	Depressão da superfície do pavimento devido à passagem consecutiva das rodas das aeronaves no mesmo sítio. Quando significativas indicam uma falha estrutural do pavimento.	
Causas possíveis	Ocorre devido a uma deformação permanente em uma ou mais camadas do pavimento, ou mesmo do leito do pavimento, originada pela consolidação ou movimento lateral dos materiais devido à ação das cargas do tráfego.	
Níveis de gravidade	Baixo (B)	A profundidade da rodeira varia entre 6 a 13mm.
	Médio (M)	A profundidade da rodeira varia entre 13 a 25 mm.
	Alto (A)	A profundidade da rodeira é superior a 25mm.
Como avaliar?	Mede-se a área afetada (m ²). O nível de gravidade é definido de acordo com a profundidade média constatada ao longo da rodeira. Caso as degradações do tipo pele de crocodilo e rodeira ocorram na mesma área, cada uma deve ser registrada separadamente com o respetivo nível de gravidade.	

Tabela 3.14 - Caracterização da degradação: Desagregação superficial do agregado.

Desagregação superficial do agregado		
Descrição da degradação	Desprendimento do agregado grosso da superfície do pavimento.	
Causas possíveis	Envelhecimento do ligante.	
Níveis de gravidade	Baixo (B)	A superfície do pavimento encontra-se no geral em bom estado, mas com perda de 5 a 20 agregados por 1 m ² . A falta dos agregados grossos verifica-se em 2% da área examinada. Pouco ou nenhum potencial de FOD.
	Médio (M)	Em 1m ² de pavimento, a perda de agregado varia entre 21 a 40 unidades. A percentagem dos agregados grossos em falta encontra-se no intervalo entre 2% a 10% da área examinada. Algum potencial de FOD.
	Alto (A)	Em 1 m ² de pavimento, o número de agregados em falta é superior a 40; (2) A percentagem dos agregados grossos em falta é superior a 10% da área examinada. Elevado potencial de FOD.
Como avaliar?	Mede-se a área afetada (m ²).	

Tabela 3.15 - Caracterização da degradação: Fendas em forma de “meia-lua”.

Fendas em forma de “meia-lua”	
Descrição da degradação	Deslizamento da mistura na superfície do pavimento em forma de meia-lua com as extremidades apontando para o sentido oposto ao sentido do tráfego.
Causas possíveis	Derrame de combustível, óleo ou outro solvente.
Nível de gravidade	Não são definidos níveis de gravidade, bastando indicar a existência da degradação.
Como avaliar?	Quando a camada betuminosa à superfície apresenta uma baixa resistência (má concepção da camada) ou se verifica uma má ligação entre esta camada e a próxima, permitindo o deslizamento e a deformação do pavimento durante as manobras de travagem e mudança de direção das aeronaves.

Tabela 3.16 - Caracterização da degradação: Empolamento.

Empolamento		
Descrição da degradação	Elevação da superfície do pavimento que pode ocorrer numa área pequena de forma brusca, ou numa área considerável do pavimento de forma gradual e longa. Pode estar acompanhado por fendilhamento e desagregação do pavimento.	
Causas possíveis	Dilatação, quer da fundação, quer das camadas inferiores do pavimento devido à ação da água e do gelo. No caso de camadas betuminosas construídas sobre lajes de betão pode surgir um ligeiro empolamento à superfície devido à dilatação da laje de betão.	
Níveis de gravidade	Baixo (B)	Empolamento pouco visível que afeta ligeiramente a circulação do tráfego. Esta degradação nem sempre pode ser observada, mas pode ser detetada através da passagem de um veículo ao longo do percurso circulando à mesma velocidade que uma aeronave. Desta forma é possível identificar a presença de um empolamento, uma vez que provoca uma oscilação ascendente que é sentida no interior da viatura. Altura do empolamento inferior a 20 mm.
	Médio (M)	Empolamento facilmente observável que afeta de forma moderada a circulação do tráfego. Altura do empolamento entre 20 mm e os 40 mm.
	Alto (A)	Empolamento facilmente observável que afeta de forma significativa a circulação do tráfego. Altura do empolamento superior a 40mm.
Como avaliar?	Mede-se a área afetada (m ²). Na determinação do nível de gravidade há que ter em atenção se o pavimento em análise pertence a uma pista, caminho de circulação ou placa de estacionamento. Os valores indicados devem ser usados na definição dos níveis de gravidade em pistas.	

Tabela 3.17 - Caracterização da degradação: Desagregação superficial do mástique (em misturas betuminosas densas).

Desagregação superficial do mástique (em misturas betuminosas densas)		
Descrição da degradação	Desgaste do ligante asfáltico e do agregado fino à superfície do pavimento.	
Causas possíveis	A superfície do pavimento começa a mostrar sinais de envelhecimento que podem piorar devido às alterações climáticas.	
Níveis de gravidade	Baixo (B)	A perda do agregado fino é notável e pode ser acompanhada da descoloração do ligante; os agregados grossos começam a estar expostos (menos de 1mm). O pavimento pode ser relativamente novo (exemplo: 6 meses de idade).
	Médio (M)	A perda do agregado fino é nítida e o agregado grosso está exposto até cerca de ¼ da sua dimensão maior.
	Alto (A)	Perda considerável do agregado fino levando à perda de algum agregado grosso.
Como avaliar?	Mede-se a área afetada (m ²). Esta degradação não é registada caso se registre a desagregação superficial do agregado (<i>Raveling</i>) com nível de gravidade médio ou alto.	

Também foi desenvolvido um catálogo das degradações para os pavimentos rígidos, mas uma vez que não se procedeu a análise deste tipo de pavimento, o mesmo não foi apresentado no documento, no entanto é um dos trabalhos futuros previstos.

3.4 Avaliação da qualidade funcional

A monitorização contínua das degradações superficiais dos pavimentos aeroportuários permite a identificação precoce da necessidade de grandes reabilitações. A avaliação da qualidade funcional, apoiada na monitorização das degradações superficiais, tem por objetivo avaliar o estado atual da superfície dos pavimentos rígidos e flexíveis. Esta avaliação pode ser efetuada através da determinação de um índice que traduz o estado dos pavimentos.

A *U.S. Army Corps of Engineers* (AC 150/5380-7B, 2014) desenvolveu o *Pavement Condition Index -PCI*, um indicador numérico que traduz o estado atual de pavimentos aeroportuários flexíveis e rígidos. A determinação do índice baseia-se na identificação e medição das degradações observadas na superfície dos pavimentos, fornecendo uma base objetiva que permite priorizar as manutenções e reparações futuras, no entanto, não traduz diretamente a capacidade estrutural nem informação relativa à resistência à derrapagem ou rugosidade.

3.4.1 *Pavement Condition Index - PCI*

O PCI assume valores compreendidos entre 0 (Pavimento em ruína - falha estrutural) e 100 (pavimento novo - em bom estado), sendo determinado de acordo com a norma ASTM D 5340-12 “*Standard Test Method for Airport Pavement Condition Index Surveys*” (ASTM D 5340, 2012).

Para a determinação do índice é necessário:

- Identificar e segmentar a rede de pavimentos aeroportuários em análise;
- Determinar o número de unidades de amostra a serem inspecionadas;
- Selecionar as unidades de amostra a ser inspecionadas;
- Inspeccionar as unidades de amostra;
- Calcular o PCI por uma unidade de amostra;
- Calcular o PCI para cada secção;
- Consultar a escala de classificação do PCI.

3.4.2 *Identificação e segmentação da rede de pavimentos aeroportuários*

Designa-se por rede de pavimentos aeroportuários todos os pavimentos existentes na infraestrutura aeroportuária ou todos os pavimentos do “Lado Ar” que compõe o sistema de aviação do país (AC 150/5380-7B, 2014).

A rede de pavimentos é segmentada de acordo com as diferentes funções que assumem os pavimentos dentro da infraestrutura, como por exemplo: as pistas, os caminhos de circulação e as placas de estacionamento. O resultado desta divisão dá origem a um conjunto de elementos designados por ramos.

Cada ramo é subdividido em secções consoante o tipo e estrutura do pavimento, o histórico de construção e manutenção, o tráfego e o uso. Posto isto cada secção deve ser subdividida em áreas de estudo de tamanho padrão denominadas de unidades de amostra. A dimensão ótima de uma unidade de amostra de um pavimento rígido é de 20 lajes contínuas (lajes com aproximadamente 8m de comprimento), caso o número de lajes seja divisível por 20. Para distâncias entre juntas superiores a 8m, as lajes devem ser divididas em lajes imaginárias, considerando-se que as juntas imaginárias estão em perfeitas condições e apresentam um espaçamento igual ou inferior a 8m. A dimensão ótima de uma unidade de amostra para pavimentos flexíveis é de 450m². Caso a área do pavimento não for divisível por 450, ou para alcançar melhores condições de campo, a esta área pode variar até $\pm 180\text{m}^2$ (ASTM D 5340, 2012).

A segmentação constitui um processo importante na organização do sistema e no acompanhamento da evolução do estado do pavimento e permite ainda analisar a necessidade de inspeccionar todas as unidades de amostra existente.

3.4.3 Determinação do número de unidades de amostra a observar

O número de unidades de amostra a observar varia de todas as unidades de amostra da secção a um número mínimo de unidades de amostra calculado para que represente um nível de confiança de 95% na determinar o PCI da respetiva secção.

O número mínimo de unidades de amostras a observar (n) é determinado de acordo com a Expressão 3.1.

$$n = \frac{N \times s^2}{\left(\left(\frac{e^2}{4}\right)(N - 1) + s^2\right)} \quad (\text{Exp. 3.1})$$

Em que:

N – Número total de unidades de amostra da secção;

s – Desvio padrão do PCI de uma unidade de amostra para outra dentro da secção. Na primeira inspeção assume-se a seguinte hipótese: desvio padrão de 10 pontos para os pavimentos flexíveis (AC) e de 15 pontos para os pavimentos rígidos (PCC). Esta hipótese deve ser verificada de acordo com as indicações expostas a seguir. Nas inspeções seguintes o desvio padrão da observação anterior deve ser utilizado no cálculo de n ;

e – Erro aceitável na estimativa do PCI da secção. Em geral utiliza-se $e = \pm 5$ pontos PCI.

Para comprovar que o número de unidades de amostra observadas realmente transmite um nível de confiança de 95%, após o cálculo do PCI da secção é necessário recalcular o número mínimo de amostras a observar utilizando o desvio padrão associado ao PCI determinado. O desvio padrão real (s_{real}) é determinado de acordo com a Expressão 3.2.

$$s_{real} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (PCI_i - PCI_f)^2}{(n - 1)}} \quad (\text{Exp. 3.2})$$

Em que:

PCI_i – PCI das unidades de amostra inspecionadas i ;

PCI_f – Média dos PCI_i das unidades de amostra inspecionadas;

De seguida recalcula-se o número mínimo de amostras utilizando a Equação 3.1 e o valor do desvio padrão real obtido. Caso o novo valor de n for superior ao inicialmente determinado, é necessário seleccionar de modo aleatório, mas uniformemente espaçadas, as unidades de amostra adicionais, procedendo-se posteriormente à sua inspeção. Este processo é repetido até que o número de unidades de amostra inspeccionadas for superior ou igual ao número mínimo de unidades de amostra requeridas (n) pela aplicação da Exp. 3.1, considerando o valor do desvio padrão real obtido.

As unidades de amostras devem estar igualmente espaçadas ao longo da secção, sendo a primeira escolhida ao acaso. As restantes unidades de amostra são seleccionadas em função do espaçamento determinado de acordo com a Expressão 3.3, arredondado para o número inteiro mais baixo.

$$i = \frac{N}{n} \quad (\text{Exp. 3.3})$$

Em que:

i – Espaçamento entre as unidades de amostra;

De seguida, inicia-se as inspeções visuais ao pavimento para o levantamento dos dados necessários ao cálculo do PCI de cada unidade de amostra.

3.4.4 Cálculo do PCI de uma unidade de amostra

Segundo a ASTM D5340 (2012), para o cálculo do PCI de uma unidade de amostra é necessário determinar:

- I. A densidade percentual e o valor de dedução (*deduct value - DV*) associado a cada combinação de tipo de degradação e nível de gravidade;

A Densidade percentual (D) representa a percentagem de incidência de uma degradação numa unidade de amostra. É determinada dividindo a quantidade total afetada pela degradação (quantificação das várias degradações é feita em unidades diferentes), pela área total da unidade de amostra (ver Expressão 3.4).

$$D = \frac{\text{Quantidade afetada pela degradação (m ou m}^2\text{)}}{\text{Área total da unidade de amostra (m}^2\text{)}} \times 100\% \quad (\text{Exp.3.4})$$

Os valores de dedução de cada degradação são obtidos pela consulta das respectivas curvas do Apêndice X3 da norma ASTM D 5340 - 12 (ASTM D 5340, 2012).

- II. O número máximo de valores deduzidos a considerar na determinação dos valores deduzidos corrigidos (ver Expressão 3.5);

$$m = 1 + \left(\frac{9}{95}\right) \times (100 - HDV) \quad (\text{Exp.3.5})$$

Em que:

m - Número máximo de valores deduzidos;

HDV - maior valor individual dos valores de dedução.

- III. O valor máximo de dedução corrigido (*maximum corrected deduct value (Max CDV)*);

O valor máximo de dedução corrigido é o valor a ser deduzido do valor máximo do PCI. Para a sua determinação, seguiu-se os postos 9.5.1.2 a 9.5.5.5 da norma ASTM D 5340 - 12 (ASTM D 5340, 2012).

- IV. O PCI da unidade amostra ($PCI_{amostra}$) através da aplicação da Expressão 3.6.

$$PCI_{amostra} = 100 - Max\ CDV \quad (\text{Exp.3.6})$$

Em que:

100 – Valor máximo do PCI;

Max CDV – valor máximo de dedução corrigido.

No caso de apenas um dos valores de dedução for superior a cinco, o valor máximo de dedução corrigido a usar no cálculo do PCI, é igual a soma de todos os DV.

Hipótese 1: quando existem dois níveis de gravidade de uma degradação na mesma unidade de amostra (secção 9.6.2.1 da norma ASTM D 5340-12 (ASTM D 5340, 2012)):

- Determinar o valor de PCI, considerando os dois níveis de gravidade separadamente.
- Determinar o valor de PCI, considerando apenas o nível de gravidade mais condicionante, ou seja, as quantidades afetadas pela degradação são somadas e atribuídas o nível de gravidade mais condicionante.
- Após os cálculos, é atribuída a unidade de amostra o valor de PCI mais elevado, ou seja, menos condicionante.

Hipótese 2: quando existem três níveis de gravidade de uma degradação na mesma unidade de amostra (secção 9.6.2.2 da norma ASTM D 5340-12 (ASTM D 5340, 2012)):

- Determinar o valor de PCI, considerando os três níveis de gravidade separadamente.
- Determinar o valor de PCI, considerando as seguintes conjugações: B+M=M, M+A=A, B+A=A, B+M+A =A.
- Após os cálculos, é atribuída a unidade de amostra o valor de PCI mais elevado, ou seja, menos condicionante.

3.4.5 Cálculo do PCI de uma secção

Para as unidades de amostras inspecionadas, selecionadas de forma aleatória, calcula-se a média ponderada do PCI das unidades de amostras (\overline{PCI}_r) que constituem a secção, representando o valor de PCI da secção (PCI_s) (ver Exp. 3.7).

$$PCI_s = \overline{PCI}_r = \frac{\sum_{i=1}^n (PCI_{ri} \times A_{ri})}{\sum_{i=1}^n A_{ri}} \quad (\text{Exp.3.7})$$

Em que:

PCI_s – Valor do PCI da secção;

\overline{PCI}_r – Média ponderada, pela área, do PCI das unidades de amostras aleatoriamente selecionadas;

PCI_{ri} – PCI da unidade de amostra i aleatoriamente selecionada;

A_{ri} – Área da unidade de amostra i aleatoriamente selecionada;

n – Número total de unidades de amostras aleatoriamente selecionadas.

Se ao longo do processo de inspeção forem adicionadas unidades de amostra, é necessário determinar a média ponderada do PCI das unidades de amostras adicionais (\overline{PCI}_a) de acordo com a expressão seguinte (Exp. 3.8).

$$\overline{PCI}_a = \frac{\sum_{i=1}^m (PCI_{ai} \times A_{ai})}{\sum_{i=1}^m A_{ai}} \quad (\text{Exp.3.8})$$

Em que:

\overline{PCI}_a – Média ponderada do PCI das unidades de amostras adicionais;

PCI_{ai} – PCI da unidade de amostra adicional i;

m – Número total de unidades de amostras adicionais.

O PCI do pavimento da secção (PCI_s) é determinado através da expressão (3.9).

$$PCI_s = \frac{PCI_r(A - \sum_{i=1}^m A_{ai}) + PCI_a(\sum_{i=1}^m A_{ai})}{A} \quad (\text{Exp.3.9})$$

Em que:

PCIs – Valor do PCI dos pavimentos da secção, ponderado pela área;

A – Área total da secção.

Concluído o cálculo do PCI das unidades de amostras e das secções, é necessário relacionar os valores obtidos com a escala classificação do PCI apresentada na Figura 3.3, determinando assim o estado de conservação do pavimento aeroportuário.

Bom	(85-100)	(70-100)
Satisfatório	(70-85)	(55-70)
Razoável	(55-70)	(0-55)
Mau	(40-55)	
Muito mau	(25-40)	
Serriamente danificado	(10-25)	
Falha estrutural	(0-10)	

Figura 3.3: Escala de classificação do PCI (adaptado do AC 150/5380-7B, 2014).

Segundo Barros (2008), a escala de classificação do estado de conservação do pavimento traduzido pelo PCI transmite a seguinte informação quanto ao nível de degradação do pavimento e o tipo de intervenção a considerar:

- Bom (85-100): O pavimento possui pouca ou nenhuma degradação de baixa gravidade. Manutenção de conservação.
- Satisfatório (70-84): O pavimento apresenta algumas patologias de baixa intensidade. Manutenção de prevenção.
- Razoável (55-69): O pavimento possui anomalias de baixa e média intensidade. Manutenção preventiva a curto prazo ou reconstrução.
- Mau (40-54): O pavimento apresenta degradações de baixo, médio e alto nível de gravidade que podem causar problemas de operacionalidade. Manutenção a curto prazo de carácter reconstutivo.
- Muito Mau (25-39): O pavimento apresenta anomalias predominantemente de média e alta gravidade que provocam problemas consideráveis de operacionalidade. Reconstrução do pavimento a curto prazo.

- Seriamente danificado (10-24): O pavimento possui anomalias maioritariamente de alta gravidade que causam restrições consideráveis à operacionalidade das aeronaves. Reconstrução urgente do pavimento.
- Falha Estrutural (0-9): O pavimento apresenta deteriorações muito avançadas que impossibilitam a operação das aeronaves em segurança. Reconstrução imediata e profunda do pavimento.

3.5 Avaliação estrutural

Como já foi anteriormente referido, os pavimentos aeroportuários são projetados para suportar as cargas críticas impostas pelo tráfego, sem excessivas deformações. A avaliação estrutural determina a capacidade de carga de um pavimento. No caso de pavimentos já construídos é importante determinar os tipos de aeronaves que podem operar sobre o mesmo, assim como as suas características.

A Organização Internacional de Aviação Civil (*International Civil Aviation Organization - ICAO*) recomenda a utilização do método *ACN/PCN - Aircraft Classification Number / Pavement Classification Number*, para a avaliação da capacidade de suporte de um pavimento aeroportuário (ICAO, 2013).

3.5.1 Método ACN/PCN

Segundo o AC 150/5335-5C “*Standardized Method of Reporting Airport Pavement Strength - PCN*” (AC 150/5335-5C, 2014), o método ACN/PCN só se aplica em pavimentos que circulam aeronaves com carga superior a 5700 kg.

O ACN é um número que expressa o efeito de uma aeronave (com uma determinada carga e pressão nos pneus) sobre um pavimento. Varia de acordo com o tipo de pavimento, o peso, a pressão dos pneus e geometria do trem de aterragem das aeronaves. A determinação do ACN de uma aeronave requer informações detalhadas sobre as características operacionais, por essa razão os fabricantes disponibilizam o valor do ACN das aeronaves (AC 150/5335-5C, 2014).

O PCN é um código composto por cinco partes que é associado a qualquer um dos tipos de secção dos pavimentos aeroportuários (pista, caminhos de circulação, placa de estacionamento). Representa a capacidade de suporte de um pavimento que pode ser utilizado sem restrições por um determinado tipo de aeronave com ACN inferior ao seu valor. No entanto não se trata de uma metodologia de dimensionamento de pavimentos.

Por exemplo: PCN 58/F/A/W/T representa a compilação da seguinte informação:

- O valor numérico do PCN indica a capacidade do pavimento de suportar uma carga em termos de uma única roda padrão com pressão de pneu de 1.25 MPa.

- A primeira letra indica o tipo de pavimento, F para pavimentos flexíveis e R para pavimentos rígidos.
- A segunda letra indica a capacidade de suporte do solo de fundação. Na Tabela 3.18 são indicados os valores considerados em cada situação (ver Tabela 3.18).

Tabela 3.18 - Capacidade de suporte do solo de fundação, para efeitos do cálculo do ACN (AC 150/5335-5C, 2014)

Classificação	Código	Tipo de pavimento			
		Flexível		Rígido	
		*k [MN/m ³]		CBR [%]	
		Valor adotado	Representa	Valor adotado	Representa
Alta	A	k=150	$k \geq 120$	CBR=15	$CBR \geq 13$
Média	B	k=80	$60 < k < 120$	CBR=10	$8 < CBR < 13$
Baixa	C	k=40	$25 < k \leq 60$	CBR=6	$4 < CBR \leq 8$
Muito baixa	D	k=20	$k \leq 25$	CBR=3	$CBR \leq 4$

* k – módulo de reação do solo de fundação (de Westergaard).

- A terceira letra indica o valor máximo de pressão permitida nos pneus. Na Tabela 3.19 são indicados os valores considerados em cada situação (ver Tabela 3.19).

Tabela 3.19 - Classificação da pressão máxima permitida nos pneus, para efeitos do cálculo do ACN (ICAO, 2013).

Classificação	Código	Pressão máxima dos pneus [MPa]
Alta	W	Ilimitada
Média	X	1,75
Baixa	Y	1,25
Muito baixa	Z	0,50

- A quarta letra indica o método de avaliação utilizado (ver Tabela 3.20).

Tabela 3.20 - Métodos de avaliação (ICAO, 2013).

Método	Código	Descrição
Técnico	T	Realização de um estudo específico das características do pavimento e aplicação de tecnologias para a avaliação do seu comportamento.
Experimental	U	Consiste em determinar o maior valor de ACN dos aviões que circulam sobre o pavimento sem danificá-lo, assumindo-se esse valor como sendo o PCN do pavimento.

No entanto, os seguintes critérios são estipulados para que uma aeronave com ACN superior ao PCN possa operar sobre um determinado pavimento (note-se que estas operações não são permitidas em pavimentos que apresentem sinais de desgaste ou falha) (ICAO, 2013):

- Para pavimentos flexíveis, o ACN das aeronaves não pode apresentar valores superiores em mais de 10% em relação ao PCN do pavimento;
- Para pavimentos rígidos, o ACN das aeronaves não pode apresentar valores superiores em mais de 5% em relação ao PCN do pavimento;
- Caso a estrutura do pavimento seja desconhecida, aplica-se a limitação de 5%;
- O número anual de operações com sobrecarga não deve ultrapassar 5% do número anual total de operações no aeroporto.

3.6 Avaliação da segurança de circulação

Nos programas de manutenção de pavimentos aeroportuários devem estar incluídas campanhas de medição dos seguintes parâmetros: coeficiente de atrito, textura superficial e irregularidade longitudinal e transversal do pavimento.

Pretende-se neste subcapítulo apresentar os principais aspetos a ter em conta na monitorização destes parâmetros, por forma a garantir a operação em segurança das aeronaves. Atrito

O atrito é a força resistente ao movimento que se desenvolve entre os pneus das aeronaves e a superfície do pavimento. Depende de fatores como o tipo de pavimento, os materiais utilizados na construção, as propriedades dos pneus, as condições de operação das aeronaves e as condições da envolvente (Ramalho, 2012).

Este parâmetro é avaliado através da medição do coeficiente de atrito longitudinal (CAL) e do coeficiente de atrito transversal (CAT). Nas pistas aeroportuárias, a medição do coeficiente de atrito longitudinal é mais relevante uma vez que influencia a distância de travagem das aeronaves. O atrito deve ser medido com o pavimento molhado, já que a água atua como lubrificante entre o pneu e o pavimento, apresentando um menor nível de resistência à derrapagem do que o piso seco (Fernandes, 2010).

O coeficiente de atrito de um pavimento vai sofrendo oscilações mais ou menos severas ao longo do tempo, dependendo da sua utilização. Essa variação está associada ao desgaste da camada de desgaste e dos seus constituintes e também à acumulação de contaminantes sobre a superfície do pavimento, principalmente de borracha, fatores que estão diretamente relacionados com o tipo de aeronaves que circulam no pavimento.

Segundo a norma AC 150/5320-12C (1997) e o *Airport Services Manual - Part 2 (Pavement surface conditions, ICAO)* (ICAO, 2002), a frequência de avaliação do atrito de um pavimento depende do número de aterragens diárias de aeronaves de grande porte (ver Tabela 3.21). Devem-se efetuar as avaliações no período de menor tráfego, dado que as medições requerem tempo e o encerramento da pista.

Tabela 3.21 - Frequência de medição do coeficiente de atrito (AC 150/5320-12C, 1997).

Número de aterragens diárias de aeronaves a turbojato por pista	Frequência mínima de avaliação do atrito
≥15	1 Ano
16 - 30	6 Meses
31 - 90	3 Meses
91 - 150	1 Mês
151 - 210	2 Semanas
≤ 210	1 Semana

A ICAO define os seguintes três níveis de atrito para a superfície das pistas aeronáuticas (ICAO, 2002)

- Nível de projeto (*Design Level*) – nível mínimo de atrito que uma superfície nova ou repavimentada deve apresentar.
- Nível de manutenção (*Maintenance Friction Level*) – a verificação de valores de coeficiente de atrito abaixo do estabelecido indica a necessidade de ações corretivas de manutenção.
- Nível mínimo de atrito (*Minimum Friction Level*) – a verificação de valores de coeficiente de atrito abaixo do estabelecido indicam que a pista “pode ser escorregadia” quando molhada e deve ser alvo de medidas corretivas imediatas para repor o coeficiente de atrito adequado. Caso o valor registrado for muito inferior ao estipulado, a pista deve ser interdita à operação de aeronaves sempre que o pavimento se encontrar molhado.

Apresenta-se na Tabela 3.22 os valores mínimos de atrito estabelecidos para os diferentes níveis de atrito, para vários equipamentos de medição de atrito contínuo utilizados internacionalmente e para dois valores da velocidade: 65 e 95 km/h.

A realização correta das campanhas de medição e a calibração dos equipamentos de medição de atrito é muito importante para que os resultados obtidos estejam em conformidade com os valores estabelecidos pela ICAO (Duarte, 2011).

Tabela 3.22 - Valores mínimos para os três níveis de atrito: projeto, manutenção e mínimo (ICAO, 2002).

Tipo de equipamento	Pneu de ensaio		Velocidade do ensaio [km/h]	Espessura da lâmina de água [mm]	Nível de projeto	Nível de manutenção	Nível mínimo de atrito
	Tipo	Pressão [kPa]					
Mu-meter Trailer	A	70	65	1	0.72	0.52	0.42
	A	70	95	1	0.66	0.38	0.26
Skiddometer Trailer	B	210	65	1	0.82	0.60	0.50
	B	210	95	1	0.74	0.47	0.34
Surface Friction Tester Vehicle	B	210	65	1	0.82	0.60	0.50
	B	210	95	1	0.74	0.47	0.34
Runway Friction Tester Vehicle	B	210	65	1	0.82	0.60	0.50
	B	210	95	1	0.74	0.54	0.41
TATRA Friction Tester Vehicle	B	210	65	1	0.76	0.57	0.48
	B	210	95	1	0.67	0.52	0.42
RUNAR Trailer	B	210	65	1	0.69	0.52	0.45
	B	210	95	1	0.63	0.42	0.32
GRIPTESTER Trailer	C	140	65	1	0.74	0.53	0.43
	C	140	95	1	0.64	0.36	0.24

3.6.1 Textura superficial

A textura ou o nível de polimento da superfície da área de contacto do pneu com o pavimento influencia no atrito e com a presença de água aumenta o risco de hidroplanagem. A superfície das pistas deve apresentar uma macro e microtextura que dotem o pavimento das características necessárias para garantir que as aeronaves operem com conforto e segurança.

A macrotextura é a profundidade dos espaçamentos entre agregados, ou seja, é a rugosidade da superfície do pavimento como um todo. Esta é responsável pela drenagem superficial do pavimento, fornecendo canais de escoamento para a água superficial. Concede ainda ao pavimento a aspereza necessária para as movimentações das aeronaves a alta velocidade.

A microtextura é a rugosidade da superfície de cada agregado. É responsável pela redução da água que ainda pode estar na superfície do pavimento e concede ao pavimento a rugosidade necessária para a circulação a baixa velocidade.

De realçar que as áreas pintadas da superfície da pista, quando molhadas, podem ser muito escorregadias. A mistura de uma pequena quantidade de areia sílica à tinta aumenta o atrito das superfícies pintadas, aspeto importante para manter a resistência ao deslizamento (AC 150/5320-12C, 1997).

3.6.2 Irregularidade longitudinal e transversal

A Irregularidade é o desvio da superfície da pista em relação a um plano de referência, que pode afetar negativamente a circulação das aeronaves. Afeta a circulação quanto à suavidade, velocidade, segurança do movimento e ainda contribui para a degradação precoce do pavimento. Importa relacionar a extensão da manifestação da irregularidade com a frequência de ocorrência: irregularidades de elevados comprimentos de onda e frequências reduzidas e

irregularidades de comprimento de onda reduzido com frequência de ocorrência elevadas (Ramalho, 2012).

Dependendo do sentido do movimento, a irregularidade pode ser longitudinal ou transversal.

A irregularidade longitudinal é a não conformidade do perfil da superfície da pista na direção do movimento das aeronaves na pista. Trata-se do sentido mais importante já que influência no conforto e na segurança de circulação das aeronaves.

A irregularidade transversal é a não conformidade do perfil da superfície da pista na direção perpendicular ao movimento das aeronaves. Dá origem a vibrações, oscilações, desconforto dos usuários e afeta os instrumentos das aeronaves.

A medição das irregularidades é efetuada para os seguintes casos: pistas novas ou repavimentadas, para a verificar se os objetivos de projeto foram atingidos; sempre que forem reportadas situações de irregularidade devidamente fundamentadas (queixas de pilotos); quando são registados problemas de drenagem que originam acumulação de água na superfície da pista. No *Annex 14 to the Convention on International Civil Aviation* (ICAO, 2013), a ICAO estabelece os limites das irregularidades considerados aceitáveis como se pode constatar no anexo A ponto 5 “Runway surface evenness”.

4 SGP AEROPORTUÁRIOS PARA CABO VERDE: DEFINIÇÃO E CASO DE ESTUDO

4.1 Introdução

Neste capítulo procede-se à descrição das principais operações de implementação de um SGPA para o Aeroporto Internacional Amílcar Cabral (Ilha do Sal - Cabo Verde), correspondendo ao desenvolvimento das fases de inventário e segmentação da rede de pavimentos, levantamento do estado dos pavimentos, criação da base de dados informatizada e avaliação da qualidade dos pavimentos (método PCI) para a pista 01-19.

4.2 Localização geográfica

A República de Cabo Verde é um país insular situado no Oceano Atlântico, entre as latitudes 14° 23' e 17° 12' Norte e as longitudes 22° 40' e 25° 22' Oeste, aproximadamente a 450 km da costa ocidental Africana, como se ilustra na Figura 4.1. a) e b).

O arquipélago é constituído por 10 ilhas das quais 9 são habitadas, possuindo uma superfície de território de 4033 km². As ilhas são de origem vulcânica, sendo a maioria montanhosa, com exceção as ilhas do Sal, Boa Vista e Maio, que são planas com grandes extensões de praia. Devido à sua situação geográfica, Cabo Verde integra o grupo dos países do Sahel e por isso apresenta um clima árido e semi-árido, quente e seco, com escassa pluviosidade e uma temperatura média anual de 25°C. A época das chuvas situa-se normalmente entre julho e outubro, muitas vezes com alguma irregularidade e períodos consideráveis entre precipitações.

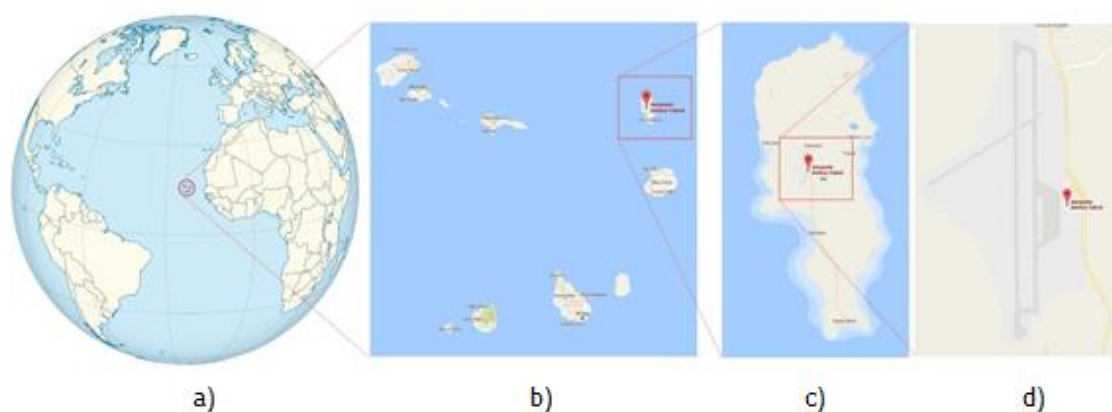


Figura 4.1: a) Localização geográfica da República de Cabo Verde; b) Mapa do arquipélago de Cabo Verde; c) Mapa da ilha do Sal; d) Mapa do Aeroporto Internacional Amílcar Cabral.

O país conta com 4 aeroportos e 3 aeródromos, tendo-se optado pelo Aeroporto Internacional Amílcar Cabral (AIAC) para desenvolver o caso de estudo por ser o primeiro aeroporto internacional, o maior e o mais antigo do país (ver Figura 4.1 c) e d)).

4.3 Caracterização do Aeroporto Internacional Amílcar Cabral

Segundo o *Aeronautical Information Publication (AIP)*, o Aeroporto Internacional Amílcar Cabral (AIAC) situa-se a 3km a sul da cidade dos Espargos, na Ilha do Sal. É um aeroporto público com o código de identificação do *International Civil Aviation Organization (ICAO)* e da *International Air Transport Association (IATA)* de GVAC e SID, respetivamente. Com capacidade para receber aeronaves do tipo 4E na classificação do ICAO (ICAO, 2013), possui os sistemas de ajuda a navegação *Glide*, *Very high Frequency Omnidirectional Radio Range (VOR)* e *Instrument Landing System (ILS) (Antena Localizer)*. Em termos de serviços de combate ao incêndio e salvamento, o aeroporto está dentro da categoria 9.

O Edifício Terminal de Passageiros tem capacidade para receber cerca de 700 passageiros por hora em operações mistas de partidas e chegadas (Silva, 2013). Atualmente encontra-se em obras de remodelação com vista a adaptar as instalações às mudanças verificadas tanto no volume como na natureza do tráfego que se regista.

O aeroporto possui duas pistas com as designações 01-19 (pista principal) e 07-25 (encontra-se inativa). Na tabela 4.1 apresenta-se um conjunto de informações relevantes relativas à Pista 01-19, sendo que o topo 01 apresenta cabeceira (*displaced threshold*) deslocada a 270m.

Tabela 4.1 - Características da Pista 01-19

Designação da Pista	01	19
Orientação magnética real	001,06°	179,06°
Coordenadas WGS84 [m] (UTM Fuso27)	X: 292 221,325 Y: 1 850 035,045	X: 292 230,560 Y: 1 853 035,823
Comprimento [m]	3000	
Largura [m]	45	
Largura das Bermas [m]	7,5	
Tipo de pavimento	Flexível	
PCN	58/F/A/W/T	

O aeroporto agrega 4 caminhos de circulação de aeronaves em pavimento flexível que asseguram a ligação entre a pista e as plataformas de estacionamento, bem como a saída rápida das aeronaves da pista após a aterragem.

A plataforma de estacionamento possui 5 stands em pavimento rígido que podem ser utilizadas em configuração mista (*nose-in* e paralela).

Foram feitas buscas na tentativa de encontrar informações fiáveis sobre o ano de construção ou sobre reconstruções do pavimento da pista principal, no entanto, não existe nenhum registo escrito sobre o mesmo. As únicas informações obtidas foram através de relatos falados, que contém o ano de intervenção de 1987 sem informações específicas sobre as intervenções realizadas.

Na Figura 4.2 apresenta-se a configuração do “Lado ar” do Aeroporto Internacional Amílcar Cabral (anexo I).

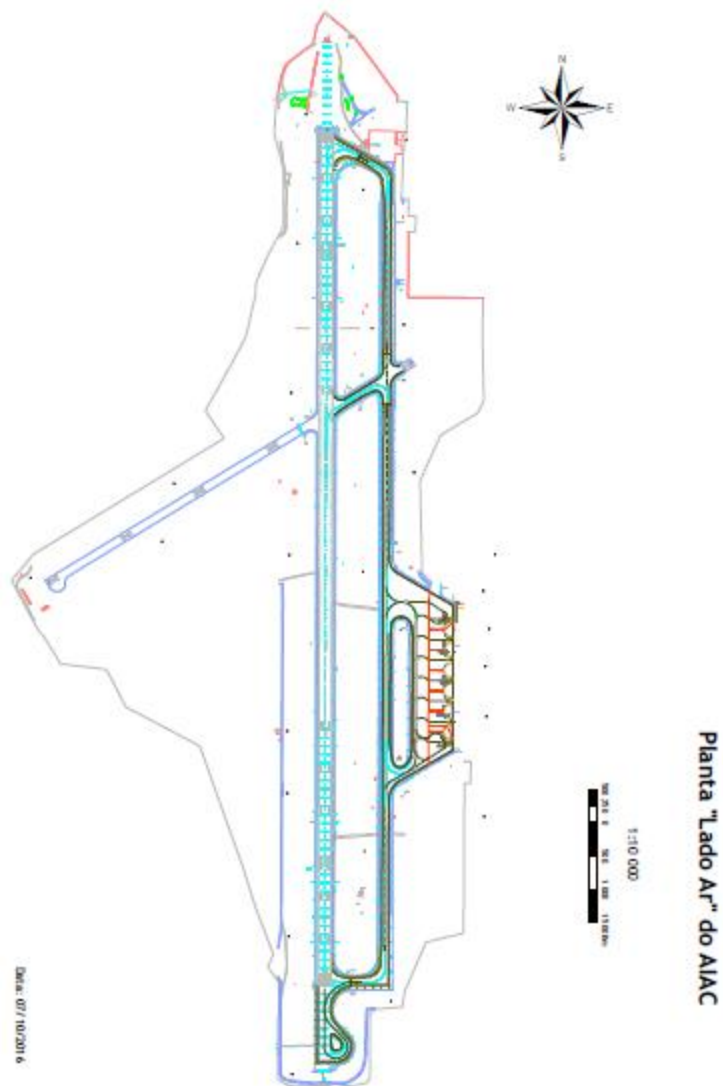


Figura 4.2 - Aeroporto Internacional Amílcar Cabral.

4.4 Segmentação da Pista

Para avaliar uma rede de pavimentos pelo método do PCI é necessário em primeiro lugar dividir a rede nos respetivos Ramos, Secções e Unidades de Amostra. Para o efeito teve-se em consideração os aspetos apresentados no capítulo 3 (ponto 3.4.1.1), dos quais salientam-se os seguintes (ASTM D 5340, 2012).

A segmentação deverá ter em conta:

- As diferentes funções que cada pavimento assume dentro da infraestrutura (pista, caminhos de circulação e placas de estacionamento);
- O tipo e estrutura do pavimento, o histórico de construção e manutenção, o tráfego e as condições de uso;
- A definição de áreas de estudo com tamanho padrão. A área ótima de uma unidade de amostra de um pavimento rígido é de 20 lajes contínuas, podendo variar +/- 8, caso o número total de lajes não seja divisível por 20. Por outro lado, se o espaçamento entre juntas for superior a 8 metros, devem ser assumidas juntas fictícias em perfeitas condições, espaçadas de uma distância igual ou inferior a 8 metros. Para os pavimentos flexíveis, esta área é de 450 m². Caso a área de pavimento existente não seja divisível por 450, ou para alcançar melhores condições em campo, a área da unidade de amostra poderá variar até ± 180 m².

Deste modo, a pista 01-19 do AIAC foi segmentada em ramos e secções identificados com o seguinte código:

- SID - código atribuído a rede de pavimentos do Aeroporto Internacional Amílcar Cabral.
- R01 (*Runway*) - representa o ramo correspondente à pista principal 01-19, que por sua vez foi dividida em 3 secções. Esta decisão baseia-se na divisão da pista em zonas sujeitas a diferentes tipos de solicitações impostas pelo tráfego. Sendo assim, as Secções A e C correspondem aos primeiros 900m medidos a partir de cada cabeceira, 01 e 19 respetivamente - *touch down zone*, e a secção B corresponde a zona central do pavimento.
- TWY (*Taxiway*) - corresponde ao ramo dos caminhos de circulação, que por sua vez foi dividido em 7 secções com as respetivas designações utilizadas no aeroporto: Alfa 1, Alfa 2, Alfa 3, Alfa 4, Beta, Charlie e Delta.
- BER (Bermas) - representa o ramo das bermas, dividido em secções tendo em conta a função do pavimento adjacente, ou seja, BERR01 - corresponde as bermas adjacentes a pista 01-19.
- APR (*Apron*) - corresponde às zonas de placas de estacionamento, sendo a mesma segmentada em secções tendo em consideração o tipo de pavimentos existentes, rígidos (R) e flexíveis (F).

Assim, a rede SID encontra-se dividida em 4 ramos e 16 secções (ver Figura 4.3). Por ser uma grande extensão de pavimento optou-se por fazer a análise do PCI apenas para a Pista 01-19.

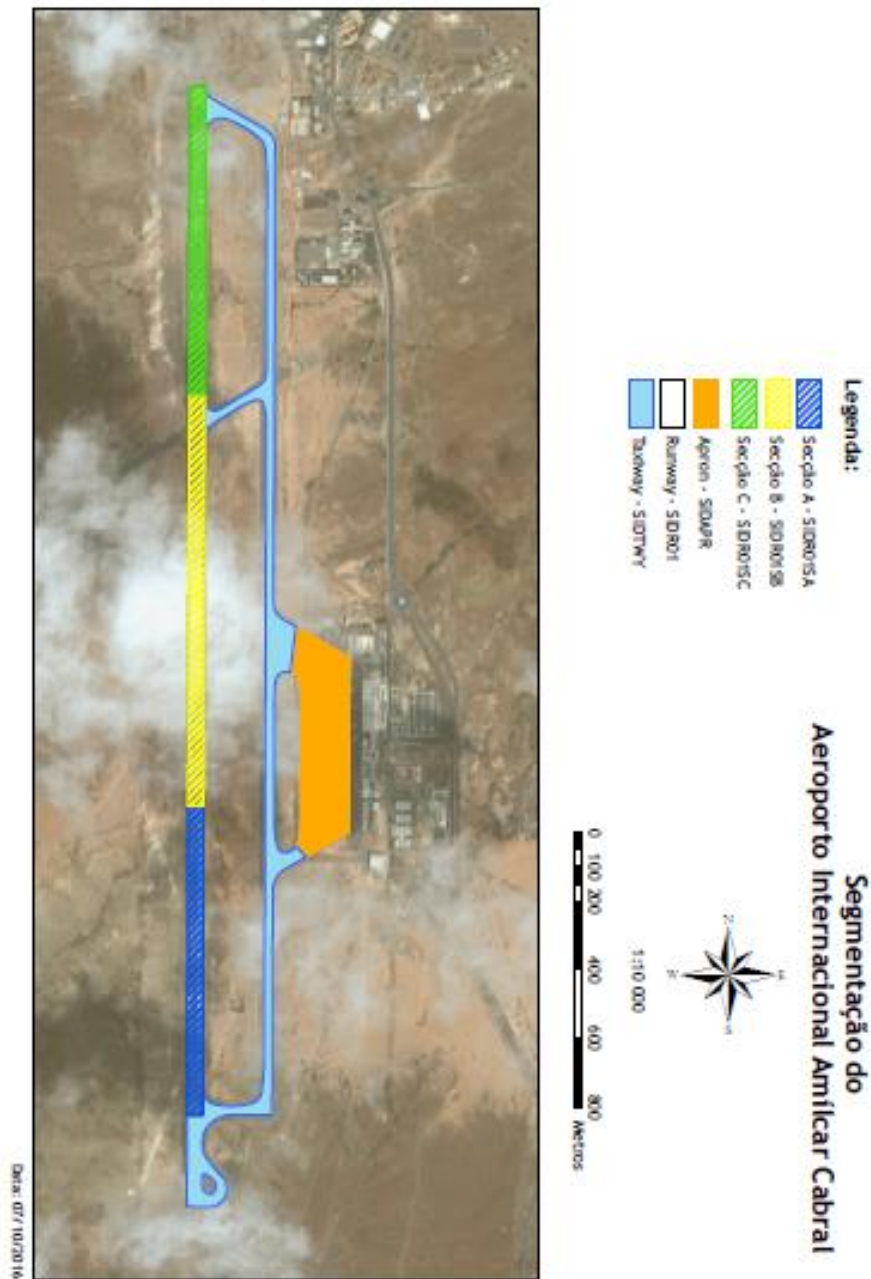


Figura 4.3 - Segmentação da Rede do Aeroporto Internacional Amílcar Cabral.

Na segmentação das secções da pista em unidades de amostra, para facilitar o levantamento das degradações no pavimento, optou-se por dividir a pista numa malha de 9 corredores com 5 m de largura por 100 de comprimento, ou seja, cada unidade de amostra possui uma área de 500m² (ver Figura 4.4).

4.5 Levantamento e tratamento dos dados

Antes de iniciar a inspeção visual ao pavimento, determinou-se o número mínimo de unidades de amostra a inspecionar em cada secção para uma correta determinação do PCI (expressão 3.1) e o respetivo intervalo de espaçamento entre elas (expressão 3.3), como consta na Tabela 4.2. As unidades de amostras foram numeradas sempre da esquerda para a direita e de baixo para cima segundo a orientação da pista, como se pode constatar na Figura 4.4 e no anexo III.

Tabela 4.2 - Número de unidades de amostra por secção.

Ramo	Secções	Área [m ²]	Nº de unidades de amostra	Nº mínimo de unidades de amostra a inspecionar	Espaçamento entre unidades de amostra
R01	A	40 500	81	14	5
	B	54 000	108	15	7
	C	40 500	81	14	5

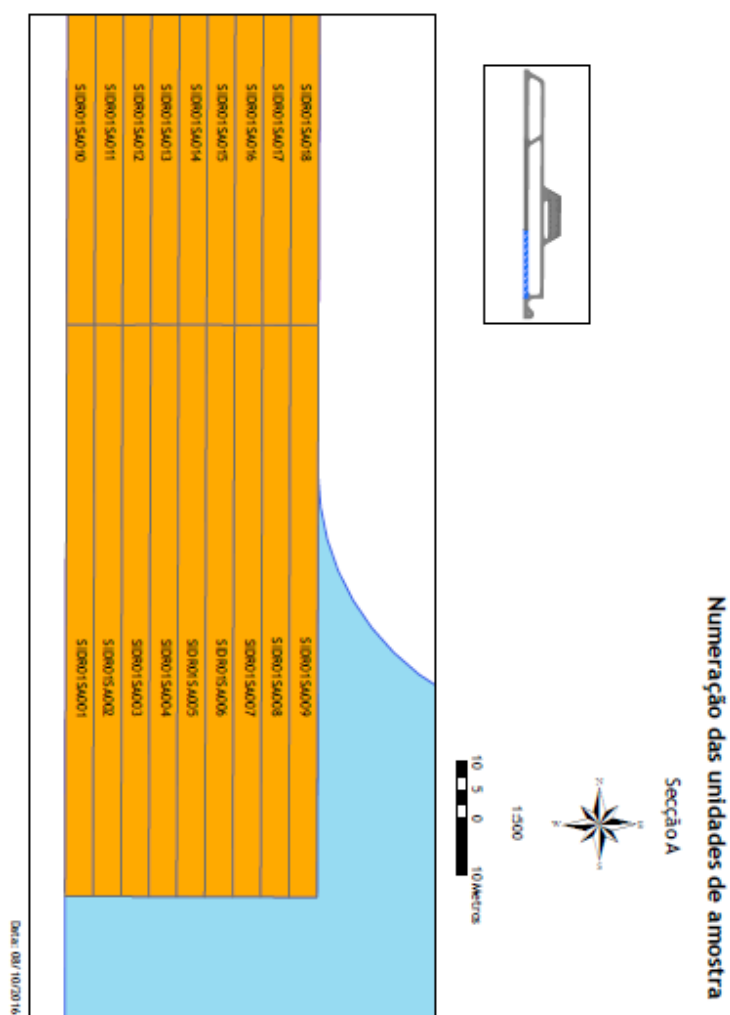


Figura 4.4 - Numeração das unidades de amostra da Secção A.

No anexo IV encontra-se a carta com a localização de todas as unidades de amostra a inspecionar.

Para o levantamento das degradações existentes na superfície do pavimento foram utilizados dois métodos;

1. Inspeção visual tradicional (a pé);
2. Levantamento em veículo com recurso a protótipo equipado com dispositivos de varrimento laser e de captação e registo de dados de imagem e de georreferenciação.

A informação recolhida, incluindo o respetivo tratamento, foi a necessária para caracterizar a infraestrutura e permitir a avaliação da qualidade dos pavimentos aeroportuários pela determinação do índice global PCI. Toda a informação recolhida e produzida, alfanumérica e geográfica, foi organizada numa base de dados, constituindo assim o módulo central do SGPA.

4.5.1 Inspeção visual tradicional (a pé)

O levantamento das degradações existentes na superfície do pavimento da pista realizou-se da seguinte forma: o técnico caminhou sobre as unidades de amostra selecionadas, identificando e avaliando o nível de gravidade das degradações existentes e preenchendo a respetiva Ficha de Levantamento (ver Figura 4.5).



Figura 4.5 - Inspeção visual tradicional.

A identificação do tipo e do nível de gravidade das degradações existentes baseou-se no catálogo de degradações para pavimentos flexíveis desenvolvido na secção 3.3. Para localizar as unidades de amostra a inspecionar e medir as áreas afetadas, comprimentos e profundidades das anomalias, recorreu-se ao auxílio de uma roda de medição, giz e de duas régua, uma de 3 metros de comprimento e uma de 40 centímetros com escala milimétrica.

Nas zonas em que se verificou a existência de cortes técnicos para a passagem dos cabos de iluminação da pista procedeu-se à medição do comprimento do corte e atribuiu-se a todos os cortes uma largura de influência de 20 centímetros, determinando assim a área afetada.

Terminado o levantamento, os dados recolhidos foram inseridos nas folhas de cálculo previamente preparadas para a determinação do PCI de cada unidade de amostra (ver Figura 4.6 e 4.7).

SIDR01SA002 - Calculo normal

Ramo: R01 Secção: A idade de amostragem: 002
 Data: 21/06/2016 Técnico: DL

Área da unidade de amostra: 500 [m²]

obs:		REMOÇÃO DE PINTURA				Densidade	VD (ver	VD por
Tipo de degradação	N.G.	Quantidade	OBS:	Total	[%]	âbacos)	ordem	
1. Pele de crocodilo	B			0	0,0		43,2	
	M			0	0,0		34,5	
	A			0	0,0		16	
2.Exsudação				0	0,0		14,2	
3.Fendas cruzadas (formando blocos)	B			0	0,0		11,8	
	M			0	0,0			
	A			0	0,0			
4.Ondulação	B			0	0,0			
	M			0	0,0			
	A			0	0,0			
5.Depressões	B			0	0,0			
	M			0	0,0			
	A			0	0,0			
6.Erosão por "Jet-Blast"				0	0,0			
7.Fendas de reflexão no local das juntas de pavimentos rígidos (longitudinal e transversais)	B			0	0,0			
	M			0	0,0			
	A			0	0,0			
8.Fendas Longitudinais e transversais (Excluindo as fendas do ponto 7.)	B			0	0,0			
	M			0	0,0			
	A			0	0,0			
9.Derrame de óleo, combustível ou outros solventes				0	0,0			
10.Reparações e cortes técnicos	B			0	0,0			
	M	1	1	6	1,6	11,8		
	A	1		1	0,2	16		
11.Polimento de agregados				0	0,0			
12.Desagregação superficial do agregado	B			0	0,0			
	M			0	0,0			
	A	27		27	5,4	43,2		
13.Rodeiras	B			0	0,0			
	M			0	0,0			
	A			0	0,0			
14.Escorregamento lateral devido à existencia de lajes rígidas	B			0	0,0			
	M			0	0,0			
	A			0	0,0			
15.Fendas em forma de "meia-lua"				0	0,0			
16.Empolamento	B			0	0,0			
	M			0	0,0			
	A			0	0,0			
17.Degradação superficial do mastique (em misturas betuminosas densas)	B			0	0,0			
	M	178,5		179	35,7	14,2		
	A	30	40	70	14,0	34,5		

Figura 4.6 - Exemplo de folha de cálculo do PCI.

HDV = 43,2 maior valor de VD
 m = 6,38 $m=1+(9/95)*(100-HDV)\leq 10$
 fração = 0,38
 DVs = 6

#	1	2	3	4	5	6	7	8	total	q	CDV
1	43,2	34,5	16	14,2	11,8				119,7	5	61
2	43,2	34,5	16	14,2	5				112,9	4	59
3	43,2	34,5	16	5	5				103,7	3	64
4	43,2	34,5	5	5	5				92,7	2	63
5	43,2	5	5	5	5				63,2	1	63
6									0,0	0	
7									0,0	0	

Max CDV 64

PCI = 100 - Max CDV 36

Classificação MUITO MAU

Figura 4.7 - Exemplo de cálculo do PCI.

O cálculo do valor do PCI das unidades de amostra e das secções em estudo foram realizados de acordo com a metodologia exposta nos pontos 3.4.4 e 3.4.5.

Os resultados obtidos foram depois inseridos num SIG como se explica mais à frente na secção 4.5.4.

4.5.2 Levantamento em veículo com dispositivos de varrimento laser e de captação e registo de dados de imagem e de georreferenciação

A inspeção realizada em veículo com recurso a protótipo equipado com dispositivos de varrimento laser e de captação e registo de dados de imagem e de georreferenciação tem como objetivo inovar no sistema de auscultação das degradações existentes nos pavimentos flexíveis aeroportuários. O desenvolvimento do protótipo usado teve por base estudos anteriores e um protótipo desenvolvido no Departamento de Engenharia Civil e Arquitetura da UBI para levantamento de degradações superficiais de pavimentos rodoviários (Maganinho, 2013) (Nogueira, 2015). Os dados obtidos foram também tratados e organizados na base de dados do SGPA.

O sistema do protótipo é composto pelo os seguintes equipamentos (Figura 4.8):

- 1 estrutura metálica para fixar o equipamento de captação de imagem;
- 1 câmara de vídeo *Garmin Elite* para captação de imagem;

- 2 feixes laser de 20 mW, posicionados horizontal e transversalmente ao sentido de marcha do veículo de inspeção;
- 2 recetor GPS Dupla Banda (Trimble 4000SSi);
- 1 recetor de GPS GIS (Trimble GeoXT);
- 1 recetor de GPS USB;
- 1 computador portátil;
- 1 veículo do tipo *pick up*.

A estrutura metálica com o equipamento de captação de imagem foi fixada na carroçaria do veículo e os feixes laser na superfície inferior traseira do veículo, centrados em relação a câmara, formando uma cruz. Um dos recetores foi mantido estático como referencia durante os levantamentos para a recolha de informação, e o outro recetor GPS foi fixada no tejadilho do veículo para o levantamento cinemático (ver figura 4.8).



Figura 4.8 - Equipamentos utilizados nos levantamentos.

Antes de dar início à campanha de auscultação do pavimento, foi necessário conferir, localizar e programar os seguintes pontos:

- Conferir o alcance da imagem captada, colocando sobre o pavimento, com o veículo imobilizado, uma mira na posição perpendicular e também paralelamente ao sentido

do movimento do veículo. Constatou-se que o alcance da imagem na direção horizontal é superior a 6 metros e na direção vertical é de 3 metros (ver Figura 4.9);

- Localizou-se no terreno as extremidades e o centro da largura dos 9 corredores;
- A camera de vídeo foi programada para captar 2 imagens por segundo;
- Conferir a ligação dos equipamentos ao computador portátil para registo e armazenamento dos dados de imagem e de georreferenciação.

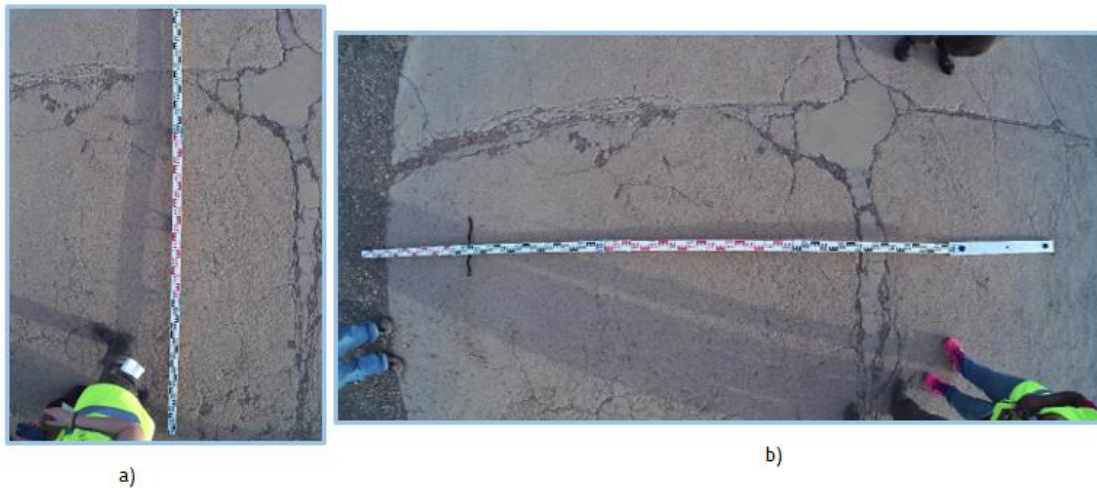


Figura 4.9 - Verificação da amplitude de captação de imagem na posição paralelo a) e perpendicular ao sentido de movimento do veículo.

Foram realizadas campanhas de levantamento no período noturno para melhor visualização da projeção dos feixes laser no pavimento. A utilização dos feixes laser permitiu identificar nas imagens captadas as seguintes degradações: ondulações, depressões, rodeiras e empolamentos. A captação de imagens no período diurno permitiu identificar as restantes degradações superficiais do pavimento flexível.

Antes de dar início à campanha de levantamento de dados no período noturno foi necessário fazer a calibração do sistema de feixes laser. Para este efeito foi escolhido um local na zona de estacionamento da área restrita do AIAC cujo pavimento apresentava uma zona com formato semelhante ao de uma rodeira. Verificou-se que a zona escolhida se encontrava-se livre de detritos e sem água (para não influenciar as medições a efetuar) e procedeu-se à calibração do sistema com o auxílio de uma régua de 3 metros, uma régua de 40 centímetros e uma fita métrica, tendo-se procedido à medição do desnível e distâncias de 3 pontos representativos da “rodeira” e ao registo das distâncias vertical e horizontal da localização do laser à projeção do feixe (ver Figura 4.10).



Figura 4.10 - Calibração do sistema de feixes laser.

Para que fosse possível determinar a profundidade da degradação a partir da deformação da projeção dos feixes laser, mediu-se as distâncias correspondentes ao triângulo que permite determinar o ângulo (ver expressão 4.1) para o cálculo da profundidade da degradação a partir da visualização das imagens, como se pode constatar no esquema apresentado na Figura 4.10. Nesta Figura “a” corresponde à distância entre a linha que une os pontos extremos da deformação e o ponto onde a profundidade da degradação é máxima (ver Figura 4.11); “b” corresponde à distância vertical dos emissores dos feixes laser ao pavimento; “c” corresponde à distância horizontal dos emissores dos feixes laser à projeção no pavimento e “CR” à profundidade ou altura máxima da degradação.

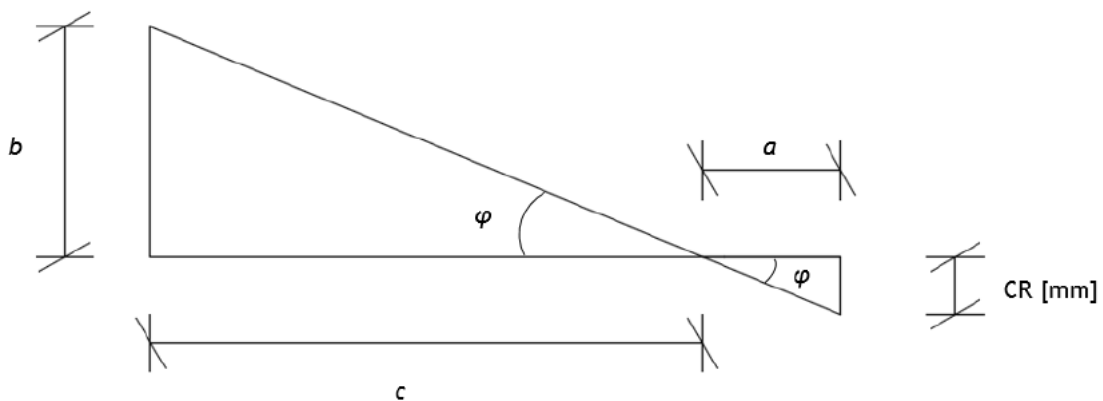


Figura 4.11 - Triângulo obtido com as medições realizadas e o ângulo a determinar.

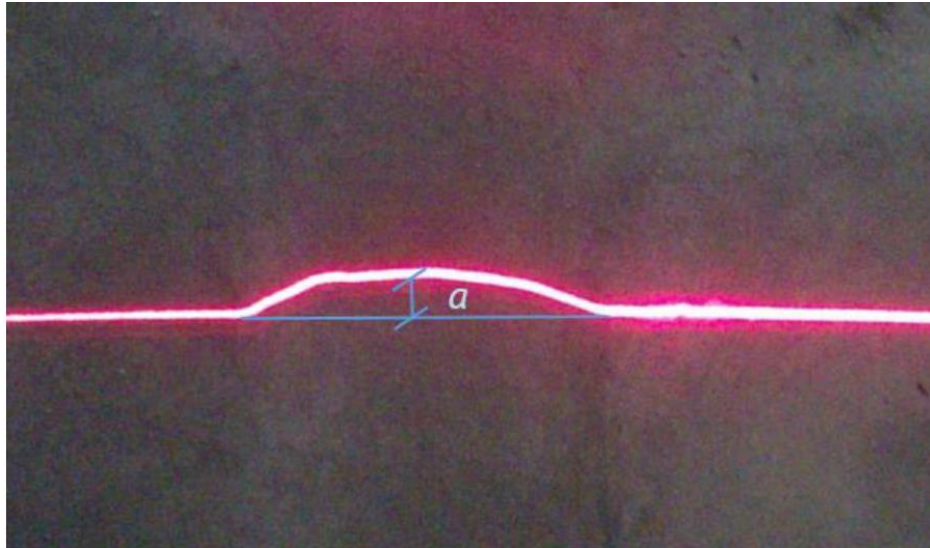


Figura 4.12 - Distância medida para obter a profundidade da rodeira ou a altura do empolamento (Nogueira, 2015).

Com a medição da distância “a” nas imagens captadas e as distâncias “b” e “c” recolhidas na calibração, é possível calcular a profundidade/empolamento das degradações com recurso às expressões 4.2.

$$\varphi = \tan^{-1} \frac{b}{c} \quad (\text{Exp.4.1})$$

$$CR = \tan \varphi \times a \quad (\text{Exp.4.2})$$

Após a calibração, procedeu-se ao alinhamento do veículo com o ponto médio do corredor, verificou-se se que todos os equipamentos se encontravam aptos e deu-se início ao levantamento da informação a uma velocidade de aproximadamente 4 m/s para o período noturno. Para o levantamento diurno adotou-se uma velocidade de levantamento de 5 m/s. Cada passagem do veículo para registo e armazenamento de dados permitiu o levantamento de informação relativa a 1 corredor, tendo sido o processo repetido nos 9 corredores para os dois períodos levantamento (diurno e noturno).

No final da auscultação do pavimento obteve-se um conjunto de imagens e de dados de georreferenciação que permitiram visualizar num SIG a superfície do pavimento de toda a pista em estudo.

4.5.3 Tratamento e visualização em SIG dos dados obtidos no levantamento com veículo equipado

O tratamento dos dados obtidos iniciou-se com a georreferenciação das imagens obtidas. Para tal procedeu-se da seguinte forma:

1. Converteu-se os dados provenientes do GPS Trimble 4000ssi que apresentavam o formato do proprietário no formato *Receiver Independent Exchange Format* (RINEX), utilizando o software TEQC da UNAVCO;
2. Os ficheiros em formato RINEX foram carregados e processados no website *Natural Resources Canada*, uma vez que disponibiliza um software online para *Precise Point Positioning* (PPP), livre e de fácil acesso, independente do fabricante do GPS. Utilizou-se o processamento cinemático para corrigir as trajetórias e o sistema de coordenadas globais *Internacional Terrestrial Reference Frame* (ITRF). Para aumentar a precisão dos dados de georreferenciação aguardou-se 15 dias pela publicação das orbitas finais antes de fazer o processamento. O sistema permitiu ainda fazer a correção do efeito das marés, já que o levantamento foi efetuado numa ilha, com o oceano muito próximo, o que afeta o posicionamento;
3. Os ficheiros ITRF foram depois convertidos para o sistema de coordenadas geográficas WGS84 UTM zona 27 Norte, fuso em que se encontra localizada a República de Cabo Verde.

Após a georreferenciação das imagens, os dados correspondentes a cada unidade de amostra foram inseridos num projeto no ArcGis 10, para se proceder ao tratamento das mesmas (identificação e definição dos níveis de gravidade das degradações e determinação de comprimentos e áreas).

Criou-se uma *shapefile* do tipo linha ou polígono para cada tipo de degradação, dependendo da forma de medição da degradação, área ou comprimento. Na tabela de atributos de cada *shapefile* foram adicionados os seguintes campos:

- Código: este campo é do tipo texto, onde é registado o código da unidade de amostra em análise;
- Área_m2: campo do tipo numérico, que existe nas *shapefiles* das degradações que requerem a medição da área afetada em metros quadrados;
- Comp_m (comprimento): campo do tipo numérico, presente nas *shapefiles* das degradações que requerem a medição do desenvolvimento em metros lineares;

- NG (nível de gravidade): campo do tipo numérico onde é inserido o nível de gravidade da degradação observada, sendo as opções: B (Baixo), M (Médio) e A (Alto);
- Obs (observações): este campo é do tipo texto e permite a introdução de, para o preencher com alguma informação relevante na fase de tratamento dos dados.

O tratamento dos dados obtidos no levantamento com veículo equipado consiste também na identificação, determinação do nível de gravidade e na medição da área/comprimento de influência das degradações.

Durante o tratamento dos dados do levantamento diurno surgiram algumas dificuldades na distinção e identificação entre os níveis de gravidade de dois tipos de degradação: desagregação superficial do mástique e despreendimento do agregado. Esta dificuldade está relacionada com o posicionamento da câmara, já que não permite ter uma correta perceção da rugosidade existente na superfície do pavimento, e com a oscilação da tonalidade das imagens. Para minimizar o problema, nos casos de maior dúvida a identificação dos níveis de gravidade apoiou-se nos dados obtidos no levantamento tradicional.

No tratamento dos dados provenientes do levantamento noturno, verificaram-se os seguintes aspetos:

- Oscilação dos faixes laser nas zonas onde se encontram as luzes de *centerline* e de *touchdown zone*;
- As ligeiras oscilações no feixe laser horizontal identificadas nos corredores 1, 2, 8 e 9 não foram consideradas como rodeiras, já que se tratam dos corredores extremos da pista, logo não estão sujeitos em geral às ações do tráfego;
- Nas zonas de circulação e transição entre a pista e os caminhos de circulação teve-se uma atenção redobrada na análise dos dados, já que se trata da zona com maior probabilidade de existência de fendas, rodeiras ou depressões provocadas pela ação do tráfego.

Após à medição das áreas do pavimento afetadas pelas degradações existentes, para cada unidade de amostra e seção determinou-se o PCI seguindo o procedimento anteriormente descrito.

A utilização das ferramentas do programa *ArcGis 10* permitiu não só tratar os dados, como também possibilitou a criação de cartas temáticas, o que torna mais fácil a localização, a leitura e a comparação dos resultados obtidos no cálculo do PCI, como se ilustra na Figura 4.12. Foram ainda criadas cartas temáticas com a localização no espaço de cada degradação e representação dos respetivos níveis de gravidade.

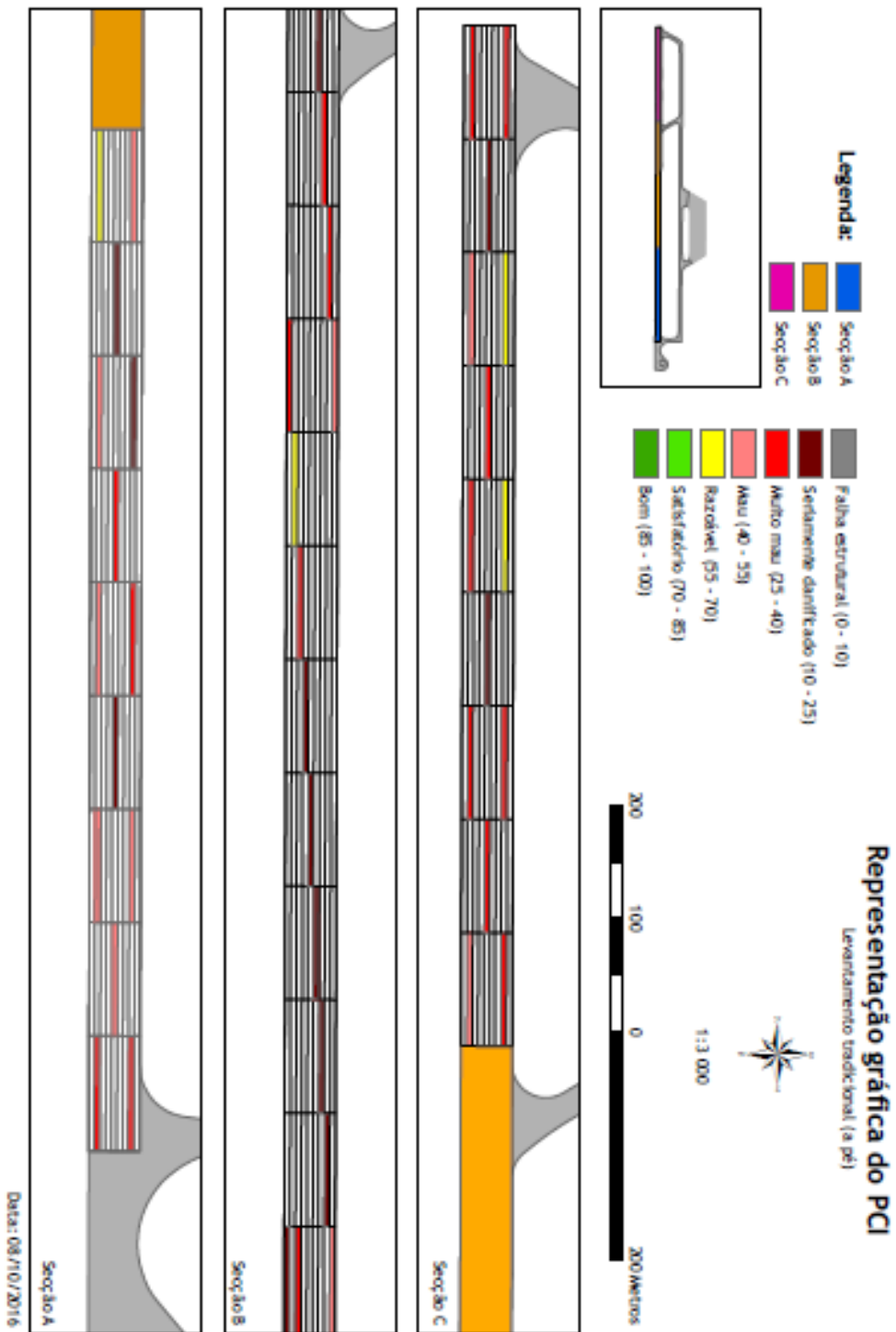


Figura 4.13 - Carta temática dos valores do PCI obtidos pelo levantamento com veículo equipado -
Seção A.

Em anexo as cartas temáticas com a representação gráfica do PCI, para os 2 tipos de levantamento.

4.6 Análise dos resultados

O tratamento dos dados obtidos através das duas inspeções realizadas (inspeção visual tradicional a pé e com veículo equipado) permitiu fazer uma comparação dos resultados obtidos nas duas abordagens. Nas Tabelas 4.3 são apresentados os valores do PCI obtidos para cada unidade de amostra e na Tabela 4.4 os valores do PCI para cada secção.

Tabela 4.3 - Valores do PCI de cada unidade de amostra inspecionada.

Secção A			Secção B			Secção C		
Código	PCI*	PCI**	Código	PCI*	PCI**	Código	PCI*	PCI**
SIDR01SA002	36	30	SIDR01SB001	22	26	SIDR01SC002	44	47
SIDR01SA008	38	40	SIDR01SB003	32	26	SIDR01SC008	27	23
SIDR01SA014	41	45	SIDR01SB009	48	41	SIDR01SC014	32	32
SIDR01SA020	43	40	SIDR01SB017	25	27	SIDR01SC020	36	32
SIDR01SA026	52	52	SIDR01SB025	22	28	SIDR01SC026	35	29
SIDR01SA032	20	22	SIDR01SB033	15	24	SIDR01SC032	20	19
SIDR01SA038	52	46	SIDR01SB041	17	18	SIDR01SC038	35	35
SIDR01SA044	27	30	SIDR01SB049	18	16	SIDR01SC044	63	53
SIDR01SA050	34	37	SIDR01SB057	27	30	SIDR01SC050	32	32
SIDR01SA056	46	46	SIDR01SB065	56	59	SIDR01SC056	43	39
SIDR01SA062	24	26	SIDR01SB073	38	38	SIDR01SC062	59	54
SIDR01SA068	11	15	SIDR01SB081	53	47	SIDR01SC068	25	29
SIDR01SA074	60	54	SIDR01SB089	31	31	SIDR01SC074	30	24
SIDR01SA080	46	48	SIDR01SB097	35	29	SIDR01SC080	26	28
			SIDR01SB105	20	25			

* Levantamento tradicional (a pé)

** Levantamento com veículo equipado

Tabela 4.4 - Valores do PCI para cada secção.

Secção	PCI*	PCI**
A	38	38
B	30	31
C	36	34

* Levantamento tradicional (a pé)

** Levantamento com veículo equipado

Os histogramas apresentados nas Figuras 4.13 a 4.16 mostram a frequência dos valores de PCI por intervalos, segundo o definido na norma, Falha estrutural (0-10), Seriamente danificado (10-25), Muito mau (25-40), Mau (40-55), Razoável (55-70), Satisfatório (70-85) e Bom (85-100).

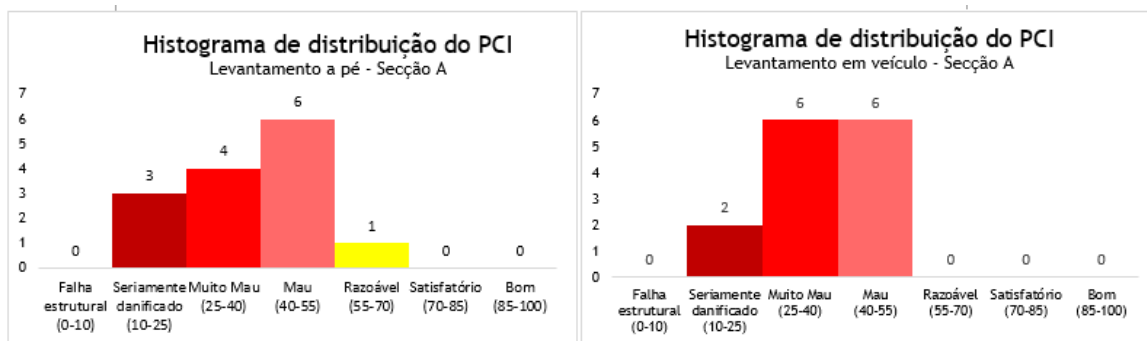


Figura 4.14 - Histogramas de distribuição do PCI - Secção A.

Comparando os histogramas da secção A é possível observar que a maioria dos valores de PCI encontram-se concentrados nas classes muito mau (40-55) e seriamente danificados (10-25) com uma ligeira oscilações entre os valores apresentados nos restantes intervalos.

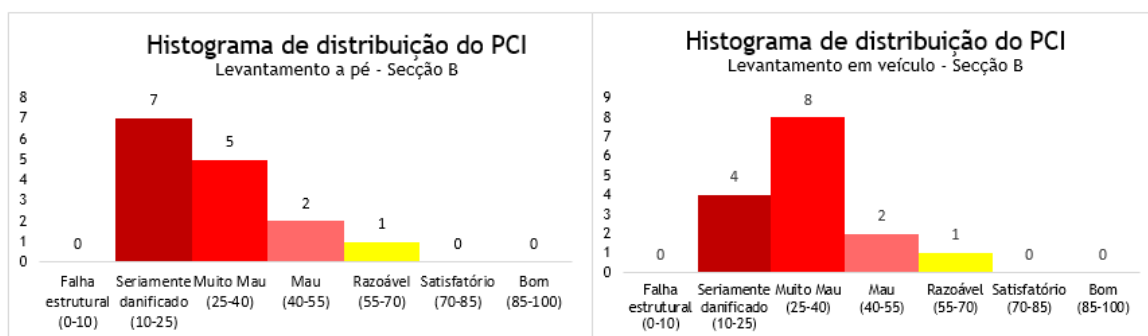


Figura 4.15 - Histogramas de distribuição do PCI - Secção B.

Comparando os histogramas da secção B é possível observar, que no levantamento a pé a maioria dos valores do PCI encontram-se no intervalo “seriamente danificado”, e no histograma do levantamento em veículo, a maioria dos valores estão concentrados no intervalo “muito mau”. Isto porque a diferença entre os valores do PCI para cada unidade de amostra não é muito relevante, mas encontram-se no limite dos intervalos, causando assim esse “salto” de intervalo de concentração.

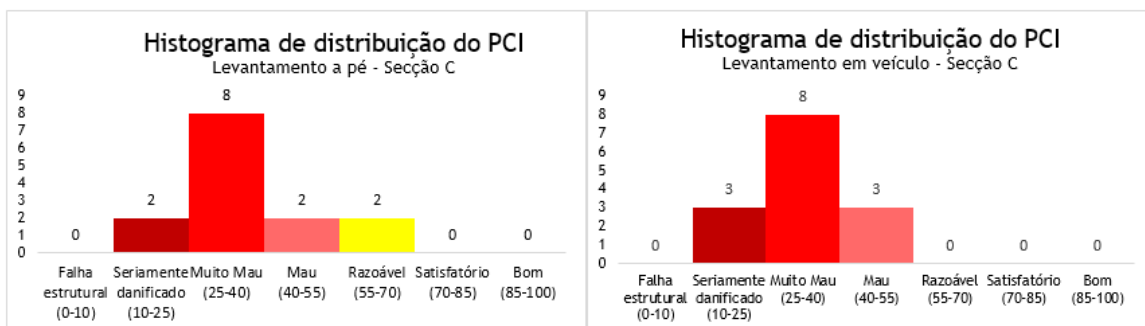


Figura 4.16 - Histogramas de distribuição do PCI - Secção C.

Comparando os histogramas da secção C é possível observar que a maioria dos valores de PCI encontram-se concentrados na classe muito mau (40-55) com uma ligeira oscilações entre os valores pelos restantes intervalos.

Comparando os valores do CPI obtidos nas 3 secções é possível observar que a secção B apresenta valores mais baixo, o motivo possivelmente deriva-se pelo facto de ser a zona de maior circulação das aeronaves.

Tendo presente que a maioria dos aviões aterram e descolam no sentido 01-19, esperava-se que a secção que apresenta-se piores valores fosse a secção A, mas não foi o que se verificou no final dos resultados.

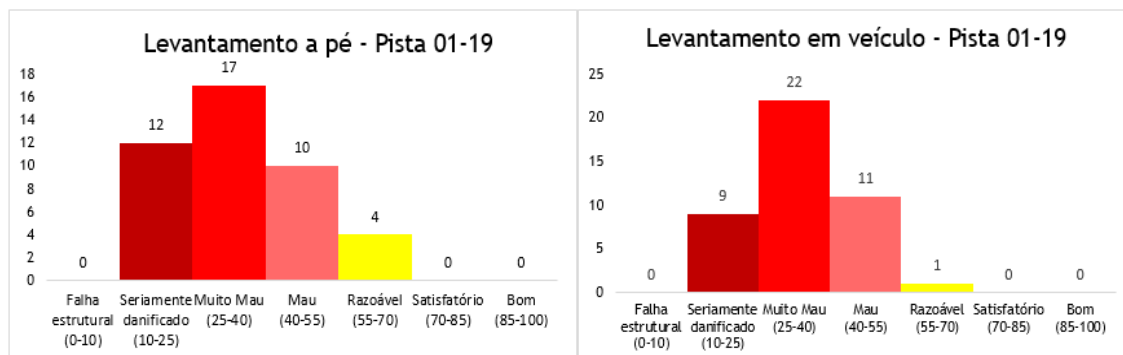


Figura 4.17 - Histogramas totais de distribuição do PCI - Pista - 01-19.

A leitura dos histogramas permitiu confirmar que em ambos os levantamentos, a maioria dos resultados encontram-se no intervalo 25-40 pontos PCI, o que indica que o pavimento está em muito mau estado e por essa razão necessita de intervenção de reconstrução a curto prazo.

Foi ainda possível determinar, através da determinação da percentagem de área afetada, quais são as degradações mais frequentes presentes no pavimento da pista 01-19: pele de crocodilo, reparações e cortes técnicos, despreendimento do agregado e desagregação superficial do mástique. As percentagens das áreas afetadas que se apresenta na Tabela 4.7 é em relação as unidades de amostra inspeccionadas, ou seja, em relação as unidades de amostra para as quais se calculou o PCI.

Tabela 4.5 - Percentagem de área afetada pelas degradações mais frequentes.

Tipo de degradação	Nível de gravidade	Percentagem de área (Levantamento a pé)	Percentagem de área (Levantamento com veículo equipado)
Pele de crocodilo	Baixo (B)	1,99	0,93
	Médio (M)	1,91	2,19
	Alto (A)	0	0
Reparações e cortes técnicos	Baixo (B)	2,16	0,10
	Médio (M)	1,06	2,34
	Alto (A)	2,06	1,17
Despreendimento do agregado	Baixo (B)	0,62	3,33
	Médio (M)	1,79	2,84
	Alto (A)	11,95	18,73
Desagregação superficial do mástique	Baixo (B)	4,15	4,37
	Médio (M)	7,00	3,74
	Alto (A)	18,02	21,67

Ao analisar a Tabela 4.5 e as cartas temáticas de cada degradação, foi possível verificar que a degradação mais frequente na pista do Aeroporto Internacional Amílcar Cabral é a desagregação superficial do mástique com evolução possível para o despreendimento do agregado. Foi possível observar ainda que a degradação do tipo pele de crocodilo encontra-se apenas nos corredores centrais, o que era expectável por se tratar dos corredores que estão mais sujeitos à ação do tráfego.

5 Conclusões

O trabalho apresentado encontra-se dividido em duas partes fundamentais, uma parte teórica que serve de apoio à parte prática e a aplicação dos conceitos expostos a um caso de estudo, o aeroporto internacional Amílcar Cabral (Ilha do Sal, Cabo Verde).

Do desenvolvimento do conteúdo teórico foi possível comprovar a pertinência e a necessidade de implementação de Sistemas de Gestão de Pavimentos Aeroportuários como ferramenta de apoio à gestão sustentada da conservação dos pavimentos, assim como a importância da obtenção de dados fiáveis relativos ao estado dos pavimentos que apoiem uma adequada avaliação dos mesmos e a definição de estratégias de intervenção. As metodologias descritas são de origem norte-americana, tendo-se verificado a sua aplicação alargada a nível internacional, pelo que foram também adotadas no desenvolvimento do caso de estudo.

Da comparação das abordagens de auscultação dos pavimentos adotadas no desenvolvimento do caso de estudo, foi possível verificar que o levantamento tradicional a pé apresenta como principais desvantagens um tempo elevado de recolha dos dados e a impossibilidade de verificar a avaliação efetuada nas mesmas condições e no mesmo momento. A localização e a delimitação das áreas das unidades de amostra no local podem levantar algumas dificuldades, sendo desejável que se recorra a pontos de referência que permitam uma adequada localização das mesmas. Realça-se ainda o facto de que nos aeroportos com maior afluência de tráfego e grande extensão de pavimentos ser muito difícil conseguir-se fazer esse tipo de levantamento. Como vantagens aponta-se a possibilidade de identificar no local, por visualização direta, as degradações e níveis de gravidade.

No que diz respeito ao método de auscultação proposto, o levantamento em veículo com recurso a protótipo equipado com dispositivos laser, de vídeo e GPS, apresenta como vantagens a possibilidade de efetuar o levantamento do estado de toda a superfície dos pavimentos de forma contínua e a uma velocidade mais elevada, o que permite a recolha de informação num intervalo de tempo menor. A avaliação das degradações é efetuada numa fase posterior à recolha da informação e a verificação dos dados, quando necessário, é efetuada para as condições verificadas no levantamento. Os dados de imagem e de georreferenciação recolhidos permitiram agilizar o processo de identificação, de avaliação do nível de gravidade e de quantificação das degradações, uma vez que foi possível visualizar toda a informação num SIG.

A utilização de um SIG facilitou não só o tratamento dos dados, como permitiu uma interpretação geográfica da distribuição dos resultados do PCI e a comparação dos resultados obtidos a partir das duas abordagens.

Durante o levantamento com recurso ao protótipo proposto e durante a fase de tratamento dos dados, verificaram-se as seguintes dificuldades:

- Manter o veículo alinhado no meio dos corredores de levantamento definidos na fase de planeamento das operações de auscultação.
- A qualidade da imagem dificultou a distinção e a avaliação do nível de gravidade das degradações do tipo desagregação superficial do agregado e desagregação superficial do mástique, uma vez que a sua adequada identificação e avaliação do nível de qualidade requerem a perceção da rugosidade ou da profundidade da textura da superfície do pavimento. Para minimizar este problema recorreu-se à uma calibração visual das imagens por comparação com os dados recolhidos no levantamento tradicional a pé, para os mesmos locais.
- No levantamento noturno, as luzes das pistas devem estar acesas porque facilita no tratamento dos dados, visto que há locais onde o ressalto que se nota nos feixes laser é devido as luzes da pista.
- É necessário testar de forma mais alargada a utilização do feixe laser longitudinal utilizado para a identificação das degradações do tipo ondulação, depressões, rodeiras e empoamento, uma vez que não se verificou a presença das mesmas nas imagens recolhidas na pista avaliada, nem foram identificadas nas unidades de amostra levantadas de forma tradicional.

Após o tratamento dos dados e a obtenção do PCI, verificou-se que os resultados de ambas as abordagens apontam para um mau estado dos pavimentos da pista do AIAC. Os resultados do cálculo do PCI para as três secções do pavimento da pista encontram-se no intervalo de 25 a 40 pontos de PCI, indicativo de muito mau estado do pavimento. Estes resultados são ainda corroborados e podem ser considerados representativos uma vez que existe a possibilidade de a idade do pavimento em análise ser de cerca de 30 anos, e por não haver registo de intervenções significativas no pavimento

Os resultados obtidos permitiram concluir que a utilização do sistema desenvolvido é viável e que este pode ser usado no processo de tomada de decisão relativo a investimentos nos pavimentos das infraestruturas que compõe o Sistema de Aviação Civil de Cabo Verde.

Como desenvolvimentos futuros apontam-se os seguintes desenvolvimentos:

- Melhoria do protótipo proposto com o objetivo de colmatar as dificuldades identificadas;
- Aplicação do método de avaliação da qualidade dos pavimentos (PCI - D5340 - 12) a caminhos de circulação e a placas de estacionamento (avaliação do PCI para pavimentos rígidos);
- Desenvolvimento das componentes de definição de estratégias de conservação dos pavimentos e da programação da conservação;

- Avaliação da capacidade estrutural do pavimento para estudo do dimensionamento do reforço de pavimentos aeroportuários, incluindo o estudo das metodologias de dimensionamento.

6 Referências Bibliográficas

AC 150/5320-12C. 1997. *Measurement, Construction, and Maintenance of Skid-Resistant Airport Pavement Surfaces.* U.S. Department of Transportation : Federal Aviation Administration , 1997.

AC 150/5335-5C. 2014. *Standardized Method of Reporting Airport Pavement Strength - PCN.* U.S. Department of Transportation : Federal Aviation Administration, 2014.

AC 150/5370-10G. 2014. *Standards for Specifying Construction of Airports .* s.l. : FAA: U.S. Department of Transportation , 2014.

AC 150/5380-6C. 2014. *Guidelines and Procedures for Maintenance of Airport Pavements.* s.l. : FAA, 2014.

AC 150/5380-7B. 2014. *Airport Pavement Management Program (PMP).* Federal Aviation Administration : U.S. Department of Transportation, USA, 2014.

Applied. 2013. *Washington Airport Pavement Management Manual.* U.S. : Applied Pavement Technology, Inc, 2013.

ASTM D 5340. 2012. *Standard Test Method for Airport Pavement Condition Index Surveys.* s.l. : American Society for Testing and Materials, 2012.

Barros, Ricardo Lemo de. 2008. *Gestão da Conservação de Pavimentos de Aeroportos e Aeródromos .* Coimbra : Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Ciências e Tecnologias, Universidade de Coimbra, 2008.

Duarte, João Pedro Sousa. 2011. *Avaliação do Coeficiente de Atrito em Aeroportos Portugueses - O caso do aeroporto de Lisboa.* Lisboa : Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa , 2011.

Fernandes, Cristina Isabel Cachado dos Santos Henriques. 2010. *Sistema de Gestão de Pavimentos Aeroportuários - Caracterização e Aplicabilidade .* Lisboa : Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa , 2010.

ICAO. 2002. *(Doc 9137 AN/898) Airport Services Manual , Part 2, Pavement Surface Conditions.* s.l. : 4th Ed, International Civil Aviation Organization, Montréal, Canada, 2002.

ICAO. 2013. *Annex 14 to Conventions on International Civil Aviation - Aerodromes, Volume I, Aerodrome Design and Operations.* s.l. : 6th Ed; International Civil Organization, Montréal, Canada, 2013.

Maganinho, Leonor Graciete de Oliveira. 2013. *Desenvolvimento de uma base de dados de patologias para avaliação da qualidade de pavimentos rodoviários com recurso a GPS, imagem vídeo e SIG.* Covilhã : Universidade da Beira Interior, Dissertação de mestrado , 2013.

McNerney, Michael T. e Harrison, Robert. 1995. *Full-Cost Approach to Airport Pavement Management. Handbook of Airline Economics.* U.S. : Handbook of Airline Economics, McGraw-Hil, 1995.

Nogueira, Ana Sofia Silva. 2015. *Avaliação de rodeiras de pavimentos rodoviários com recurso a varrimento laser.* Covilhã : Universidade da Beira Interior, Dissertação de mestrado, 2015.

Ramalho, Rute Castro Lopo. 2012. *Diretrizes para a avaliação funcional de pavimentos aeronáuticos .* Porto : Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2012.

Silva, Anisa. 2013. *Sistema de Gestão de Segurança Operacional nos Aeroportos de Cabo Verde. Implementação da Fase II - Gestão de Risco.* Covilhã : Universidade da Beira Interior, Dissertação de Mestrado, 2013.

TRB. 2008. *Implementation of an Airport Pavement Management System.* Transportation Reserch Circular number E - C127 : Transportation Reserch Board, 2008.

U.S Army Corps of Engineer. 2014. *User Manual, PAVER Version 7.0, Pavement Management System.* U.S. : U.S. Army Corps of Engineers, Engineer Research and Development Center, Construction Engineering Research Laboratory, 2014.

U.S Army Corps of Enginneers. 2009. *ASPHALT SURFACED AIRFIELDS - PAVER™ DISTRESS IDENTIFICATION.* Tyndall Air Force Base, Florida : s.n., 2009.

7 Anexos

- I. Planta “Lado Ar” do Aeroporto Internacional Amílcar Cabral
- II. Segmentação da Rede do Aeroporto Internacional Amílcar Cabral
- III. Numeração das unidades de amostra
- IV. Localização das unidades de amostra inspecionadas
- V. Representação gráfica do PCI (Levantamento tradicional)
- VI. Representação gráfica do PCI (Levantamento com veículo)