



**FCTUC** DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL  
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

# **Gestão da Conservação dos Pavimentos da Rede Rodoviária de Coimbra Recorrendo à Utilização do Software SIGPAV**

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil na Especialidade de Urbanismo, Transportes e Vias de Comunicação

Autor

**Roberto Pestana de Faria**

Orientador

**Professor Doutor Adelino Jorge Lopes Ferreira**

Esta dissertação é da exclusiva responsabilidade do seu autor, não tendo sofrido correções após a defesa em provas públicas. O Departamento de Engenharia Civil da FCTUC declina qualquer responsabilidade pelo uso da informação apresentada.

**Colaboração Institucional**

---



**Câmara Municipal de Coimbra**

**Coimbra, Janeiro, 2015**

## **Agradecimentos**

Este trabalho foi realizado no âmbito do projeto MODAT - Sistema de Apoio à Decisão Multiobjectivo para Gestão de Infraestruturas Rodoviárias (PTDC/ECM/112775/2009) e do projeto EMSURE - Energia e Mobilidade para Regiões Sustentáveis (CENTRO-07-0224-FEDER-002004).

Agradeço a todas as pessoas que me ajudaram a tornar possível a realização desta dissertação.

Ao Professor Doutor Adelino Ferreira, Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, orientador deste trabalho, por toda a disponibilidade e apoio prestados.

À equipa de investigação do DEC-UC, Rita Silva e Fábio Simões, pelas suas críticas sugestões e incentivos.

Aos meus familiares, em especial à minha mãe Agostinha Pestana, pelo apoio incondicional e motivação ao longo dos meus anos de estudo.

## RESUMO

Esta dissertação apresenta o desenvolvimento de uma metodologia de gestão de pavimentos da rede rodoviária a propor ao Município de Coimbra, orientado tanto ao nível de rede como ao nível de projeto. Para alcançar esse objetivo foram efetuadas as seguintes tarefas: revisão de conhecimentos sobre os Sistemas de Gestão de Pavimentos; levantamento das degradações superficiais dos pavimentos (fendilhamento, pele de crocodilo, covas, peladas, rodeiras e IRI), recolha das características da rede (classificação rodoviária, história dos pavimentos, dados de tráfego e geometria da rede); definição de uma metodologia de avaliação da qualidade e a definição de uma metodologia de apoio à decisão.

O Sistema de Gestão de Pavimentos proposto é constituído por uma Base de Dados Rodoviária, um Sistema de Avaliação da Qualidade e um Sistema de Apoio à Decisão. A Base de Dados Rodoviária armazena e trata os dados dos diferentes sectores de atividade do sistema. O Sistema de Avaliação da Qualidade disponibiliza o estado de conservação dos pavimentos através de uma avaliação mista. O Sistema de Apoio à Decisão permite a definição das melhores estratégias de aplicação dos recursos utilizando uma programação corretiva a um ano por níveis mínimos de qualidade e utiliza o método de avaliação multicritério TOPSIS (*Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*) na priorização dos trechos a intervir.

## **ABSTRACT**

This dissertation presents the development of a pavement management methodology to propose to the Municipality of Coimbra, focusing on the network level and the project level. To achieve this goal the following tasks were performed: review of the state-of-the-art in terms of Pavement Management Systems; pavement degradations survey of the road network of Coimbra (cracking, alligator cracking, potholes, raveling, patching, rutting and longitudinal roughness), survey of data about the road network (road classification, pavement history, traffic data and road geometry); definition of a pavement quality evaluation methodology and the definition of a decision-aid tool methodology.

The proposed Pavement Management System includes the following components: a Road Network Database; a Quality Evaluation Tool; and a Decision-Aid Tool. The Road Network Database stores and processes the data of the system activity sectors. The Quality Evaluation Tool establishes the state quality of road pavements using a mixed analysis. The Decision-Aid Tool allows the definition of the best strategies of resource application using a one year corrective programming methodology by minimum quality levels and uses the multi-criteria evaluation method TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) to prioritize the interventions on the road sections.

## ÍNDICE

1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Estrutura da Dissertação .....	2
2 GESTÃO DA CONSERVAÇÃO DOS PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS .....	4
2.1 Introdução.....	4
2.1.1 Base de Dados Rodoviária.....	4
2.1.1.1 Novos Desenvolvimentos nos Sistemas de Aquisição de Dados em Portugal.....	8
2.1.2 Sistema de Avaliação da Qualidade dos Pavimentos .....	10
2.1.3 Sistema de Apoio à Decisão.....	13
2.2 Sistema de Gestão de Pavimentos do Município de Viseu .....	14
2.3 Sistema de Gestão de Pavimentos Flexíveis Proposto para o Estado do Ceará.....	17
2.4 Considerações Finais .....	24
3 ESTUDO DE CASO .....	27
3.1 Introdução.....	27
3.1.1 Enquadramento do Distrito e Município de Coimbra .....	27
3.1.2 Organização da Câmara Municipal de Coimbra .....	28
3.2 Rede Rodoviária de Coimbra .....	29
3.3 Metodologia de Gestão Utilizada pela Câmara Municipal de Coimbra.....	31
3.4 Metodologia de Gestão Proposta.....	31
3.4.1 Base de Dados Rodoviária do Município de Coimbra .....	32
3.4.2 Sistema de Avaliação da Qualidade dos Pavimentos .....	34
3.4.3 Sistema de Apoio à Decisão .....	40
3.5 Considerações Finais .....	50
4 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS .....	51
4.1 Conclusões.....	51
4.2 Trabalhos futuros.....	51
5 REFERÊNCIAS .....	52
ANEXO A .....	A-1
ANEXO B .....	B-1
ANEXO C .....	C-1

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 - Estrutura do Sistema de Gestão de Pavimentos da EP .....	2
Figura 2.1 - Estrutura de um Sistema de Gestão de Pavimentos.....	4
Figura 2.2 - Equipamento VIZIROAD.....	7
Figura 2.3 - Arquitetura geral do sistema.....	8
Figura 2.4 - Levantamento com apoio do OpenStreetMap .....	9
Figura 2.5 - Estrutura do Sistema de Gestão de Pavimentos do Município de Viseu.....	14
Figura 2.6 - Sistema de Apoio à Decisão do SGP de Viseu.....	16
Figura 2.7 - Esquema gráfico para definição de Unidades de Amostragem de acordo com a metodologia do DNIT.....	18
Figura 2.8 - Atividades do SGP que integram a BDR.....	19
Figura 2.9 - Classificação funcional do pavimento .....	21
Figura 2.10 - Árvore de Decisão das soluções de reparação a aplicar .....	23
Figura 3.1 - Localização geográfica do Município de Coimbra e respetivas freguesias.....	28
Figura 3.2 - Organograma funcional da Câmara Municipal de Coimbra.....	29
Figura 3.3 - Rede rodoviária de Coimbra.....	30
Figura 3.4 - Metodologia de gestão proposta .....	31
Figura 3.5 - Avaliação do estado superficial dos pavimentos betuminosos no ano 2014.....	39
Figura 3.6 - Sistema de apoio à decisão do programa SIGPAV.....	41
Figura 3.7 - Sequência e interação das degradações .....	41
Figura 3.8 - Árvore de Decisão das intervenções a aplicar aos pavimentos .....	43
Figura 3.9 – Relatório de custos .....	46
Figura 3.10 - Comparação do estado dos pavimentos entre o ano 2014 e após reparação dos trechos.....	47
Figura 3.11 - Relatório de Qualidade dos Pavimentos após reparação .....	49

## ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1 - Ficha de observação dos pavimentos .....	5
Quadro 2.2 - Área ou valor adotado em cada de gradação consoante o nível de gravidade .....	6
Quadro 2.3 - Comparação entre medições .....	9
Quadro 2.4 - Níveis mínimos de qualidade .....	17
Quadro 2.5 - Fator de Equivalência.....	20
Quadro 2.6 - Classificação climática da UNESCO .....	22
Quadro 3.1 - Classificação rodoviária .....	33
Quadro 3.2 - Atribuição numérica dos trechos urbanos .....	33
Quadro 3.3 - Código de freguesias .....	34
Quadro 3.4 - Ficha de observação dos pavimentos .....	35
Quadro 3.5 - Área ou valor adotado em cada de gradação consoante o nível de gravidade ....	36
Quadro 3.6 - Área degradada/valor adotado por nível de gravidade.....	37
Quadro 3.7 - Cálculo da área de fendilhamento, pele de crocodilo, covas e peladas, reparações, rodeiras e IRI .....	38
Quadro 3.8 - Número de trechos que apresentam valores de área de degradação superiores ao estipulado.....	42
Quadro 3.9 - Soluções de intervenção e respetivos custos .....	42
Quadro 3.10 - Plano de Manutenção dos Pavimentos .....	44
Quadro 3.11 Descrição dos critérios utilizados na análise multicritério .....	47
Quadro 3.12 - Definição dos pesos associados a cada critério .....	48
Quadro 3.13 – Ordenação dos trechos e respetivos critérios.....	48

## SIMBOLOGIA

- $a_i$  – Coeficiente estrutural corrigido da camada  $i$ ;
- $C$  – Classificação climática;
- $C2$  – Proporção (1/1000) de superfície com pele de crocodilo ou com desagregação;
- $CBR$  – California Bearing Ratio;
- $CM$  – Custo de manutenção do pavimento associado ao valor  $PCR_{atual}$  do trecho rodoviário;
- $COV_t$  – Custos de operação de veículos (€/km/ano) no ano  $t$ ;
- $C_t$  – É a área com fendilhamento e pele de crocodilo no ano  $t$ ;
- $D_{OFWD_t}$  – Deflexão determinada com FWD no ano  $t$ ;
- $ET_0$  – Evapotranspiração potencial (mm);
- $FE$  – Fator de Equivalência;
- $H_i$  – Espessura da camada  $i$ ;
- $I_A$  – Índice de Aridez;
- $N$  – Número acumulado de tráfego;
- $N_{acum}$  – Número acumulado de solicitações de eixos padrão de 8,2 tf ;
- $P$  – Proporção (1/1000) de superfície com reparações localizadas;
- $PCR_0$  – Valor de PCR calculado com o modelo de previsão de desempenho após a aplicação da intervenção;
- $PCR_{atual}$  – Valor de PCR calculado com o modelo de previsão de desempenho para o ano de análise;
- $Pr$  – Precipitação média (mm);
- $PSI_{2014}$  – Índice de qualidade do pavimento no ano de 2014;
- $PSI_r$  – Índice de qualidade do pavimento após reparação do trecho;
- $P_t$  – Área com reparações no ano  $t$ ;
- $RD$  – Profundidade média (polegadas) das rodeiras;
- $R_t$  – Profundidade média das rodeiras no ano  $t$  (mm);
- $S$  – Capacidade estrutural do pavimento;
- $SNC$  – Número estrutural corrigido;
- $S_t$  – Área de covas e peladas no ano  $t$ ;
- $SV$  – Variância de desníveis do perfil longitudinal medido na faixa de rodagem com o perfilómetro CHLOE;
- $TMDA$  – Tráfego Médio Diário Anual de veículos;
- $VD$  – Valor Deduzido;
- $x_i$  – Extensão do Defeito (m);
- $x_t$  – Extensão do Segmento.



## ABREVIATURAS

AASHTO – American Association of State Highway and Transportation Officials;  
ARAN – Automatic Road Analyser;  
BDR – Base de Dados Rodoviária;  
CBR – California Bearing Ratio;  
CI+RE – Remoção parcial do pavimento e aplicação de camada granular intermédia e reperfilamento;  
CL – Camadas ligadas;  
Cov. – Covas;  
DEC-UC – Departamento de Engenharia Civil – Universidade de Coimbra;  
DEC-UM – Departamento de Engenharia Civil - Universidade do Minho;  
DL – Distribuidora Local;  
DNIT- Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes  
DP – Distribuidora principal;  
EP – Estradas de Portugal;  
Fend. – Fendilhamento;  
FR+RE – Fresagem total ou parcial das camadas asfálticas e reperfilamento;  
FWD – Falling Weight Deflectometer;  
GEO+RE – Rega de colagem e aplicação de manta anti propagação de fendas e reperfilamento;  
GPS – Global Positioning System;  
HDM-4 – Highway Development and Management System 4;  
HDM-III – World Bank Highway Design and Maintenance Standards Model III;  
IC – Itinerários Complementares;  
IP – Itinerários Principais;  
IQ – Índice de Qualidade;  
IRI – Irregularidade longitudinal;  
ISOHDM – International Study of Highway Development and Management;  
IST – Instituto Superior Técnico;  
JAE – Junta Autónoma de Estradas;  
M&R – Manutenção e Reabilitação;  
P.C. – Pele de crocodilo;  
PCI – Pavement Condition Index;  
PCR – Pavement Condition Rating;  
Pel. – Peladas;  
PSI – Present Serviceability Index - Índice de qualidade dos pavimentos;

RC – Rega de colagem;  
RE – Reperfilamento;  
Rep. – Reparações;  
RP – Reparação profunda;  
RRT – Remoção e reconstrução total das camadas asfálticas;  
RS – Reparação superficial;  
RST – Laser Road Surface Tester;  
RTP – Reconstrução total do pavimento;  
SAD – Sistema de Apoio à Decisão;  
SAQ – Sistema de Avaliação de Qualidade;  
SGP – Sistema de Gestão de Pavimentos;  
STH – Segmentos homogéneos;  
TOPSIS – Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution;  
TSD – Tratamento superficial duplo;  
TSS – Tratamento superficial simples;  
UAs – Unidades de Amostragem;  
VC – Via coletora.

## 1 INTRODUÇÃO

As vias de comunicação constituem uma importante infraestrutura para o desenvolvimento de uma sociedade. Durante décadas a rede rodoviária portuguesa constituiu um problema de estrangulamento do crescimento da economia devido às suas inadequadas características geométricas e à sua deficiente qualidade. Ao longo dos anos, principalmente na década de 90, esse problema tem vindo a ser resolvido através da construção de Autoestradas, Itinerários Principais (IP), Itinerários Complementares (IC) e Estradas Municipais. Segundo Ferreira (2013) o país tem cerca de 82900 km de rede de estradas, dos quais 71294 km são pavimentadas e 2613 km fazem parte de um sistema de autoestradas.

O ciclo de vida dos pavimentos divide-se em duas fases, uma primeira que termina com a construção do trecho da rede rodoviária e uma segunda fase que engloba a conservação segundo o período de vida útil. A inexistência de Sistemas de Gestão de Pavimentos (SGP) capaz de manter a qualidade funcional e estrutural dos pavimentos tornou-se um problema incontornável. Um SGP eficiente é capaz de garantir a todas as secções de uma rede de estradas um elevado nível de serviço requerendo um baixo orçamento e uso de recursos sem criar impactos adversos nas operações de tráfego e nas atividades sociais (Meneses e Ferreira, 2013).

Os primeiros desenvolvimentos em Sistemas de Gestão de Pavimentos tiveram início nos finais dos anos sessenta e envolviam o que muitos consideram as primeiras aplicações de tecnologias de computação na Engenharia Civil (Markow, 1995; Thompson, 1994). Estes sistemas permitiam o tratamento de grandes quantidades de informação de modo a determinar indicadores que eram utilizados para a tomada de decisões. A publicação do primeiro guia de gestão de pavimentos em 1985 pela *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO) e a posterior imposição por parte da administração federal de estradas norte americana de utilização de um SGP como requisito para receber investimento impulsionaram a investigação e o seu desenvolvimento (Albuquerque, 2007).

O primeiro Sistema de Gestão de Pavimentos surge em Portugal em 1990, desenvolvido pela extinta Junta Autónoma de Estradas (JAE). Atualmente a Estradas de Portugal, S.A. é a entidade pública que possui a responsabilidade de manutenção cerca de 13000 quilómetros de extensão de estradas. Em 2003 encomendou a três universidades portuguesas um novo SGP (Figura 1.1) (Ferreira *et al.*, 2011; Picado-Santos *et al.*, 2006). A equipa de investigadores do Instituto Superior Técnico (IST) teve a responsabilidade de criar uma Base de Dados Rodoviária habilitada para ser explorada por um Sistema de Informação (SIG) desenvolvida pela equipa de

investigadores do Departamento de Engenharia Civil (DEC) da Universidade de Coimbra (UC) e pelo DEC da Universidade do Minho (UM). O Sistema de Avaliação da Qualidade dos Pavimentos bem como Sistema de Apoio à Decisão foram desenvolvidos pela equipa de investigadores do DEC-UC.

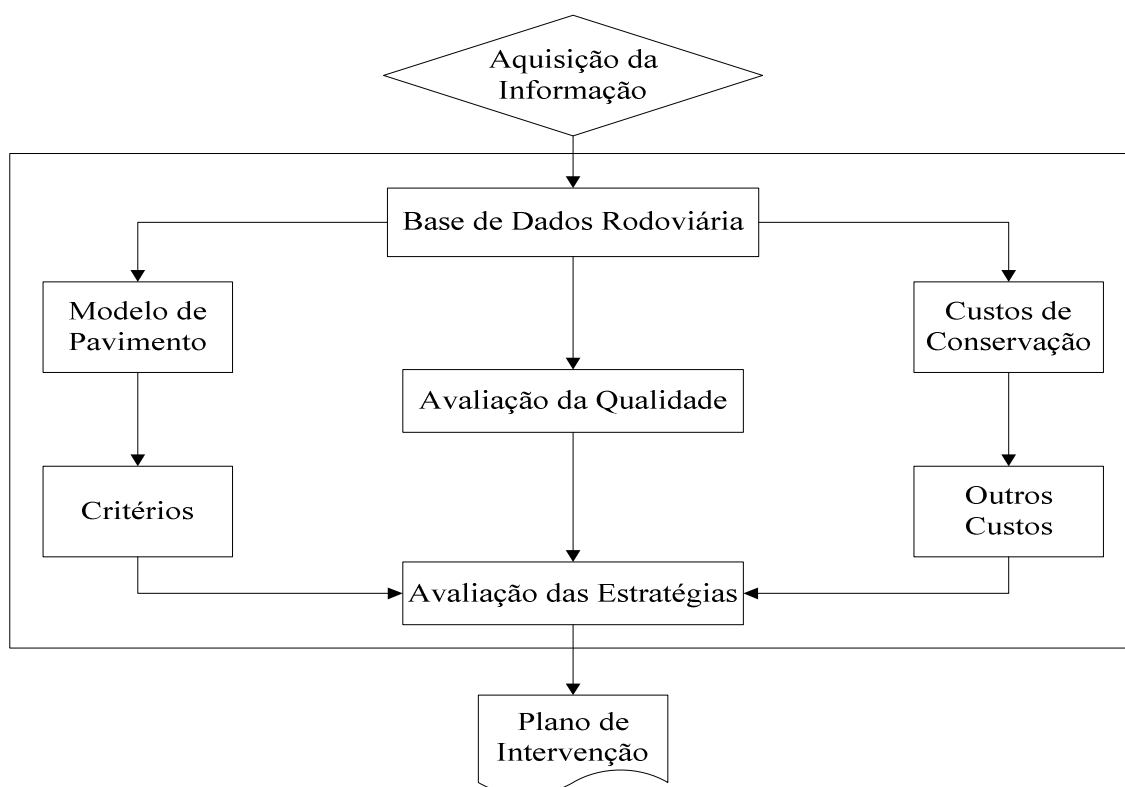


Figura 1.1 - Estrutura do Sistema de Gestão de Pavimentos da EP (Picado-Santos *et al.*, 2006)

Podem ser agrupadas em dois níveis as atividades de um Sistema de Gestão de Pavimentos, a nível de rede e a nível de projeto. O nível de rede compreende as decisões relativas à política do organismo apoiando os responsáveis financeiros e a administração das estradas na definição da política de conservação de maior rentabilidade para a rede considerando três fatores fundamentais: o estado da rede; os padrões de qualidade definidos para a rede; e as restrições financeiras existentes. Ao nível de projeto, os sistemas de gestão são utilizados principalmente pelo nível técnico da administração na procura da solução mais adequada do ponto de vista técnico-económico para cada trecho da rede (Branco *et al.*, 2006).

## 1.1 Estrutura da Dissertação

Esta Dissertação encontra-se desenvolvida ao longo de quatro capítulos, incluindo este que descreve a necessidade de implementação de um Sistema de Gestão de Pavimentos e faz um

breve enquadramento histórico do tema apresentando as origens dos primeiros SGP no mundo e em Portugal. Distinguem-se, ainda neste capítulo, os diferentes níveis de gestão dos SGP.

No capítulo 2 faz-se uma revisão de conhecimentos sobre os Sistemas de Gestão de Pavimentos descrevendo as suas componentes, funcionalidades e funcionamento. Apresenta-se também o Sistema de Gestão de Pavimentos que foi proposto para o Município de Viseu e o Sistema de Gestão de Pavimentos Flexíveis proposto para o estado do Ceará.

No capítulo 3 começa-se por fazer um enquadramento espacial e social do Município de Coimbra e da sua rede rodoviária, e descreve-se o Sistema de Gestão de Pavimentos proposto para o Município de Coimbra.

O capítulo 4 apresenta as conclusões deste trabalho de investigação e possíveis trabalhos futuros.

O capítulo 5 apresenta as referências bibliográficas utilizadas.

No Anexo A apresentam-se os dados relativos aos trechos da rede rodoviária. O Anexo B apresenta as áreas de degradação superficial dos pavimentos, a profundidade média das rodeiras, o IRI e o PSI em cada trecho. No Anexo C apresenta-se o relatório de qualidade dos pavimentos após intervenção.

## 2 GESTÃO DA CONSERVAÇÃO DOS PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS

### 2.1 Introdução

Um Sistema de Gestão de Pavimentos é fundamentalmente um processo de ajuda à decisão constituído pelas seguintes componentes (Figura 2.1): uma Base de Dados Rodoviária (BDR); um Sistema de Avaliação da Qualidade dos Pavimentos (SAQ) e um Sistema de Apoio à Decisão (SAD) (Branco et al., 2006, Ferreira e Picado-Santos, 2007; Picado-Santos et al., 2006).

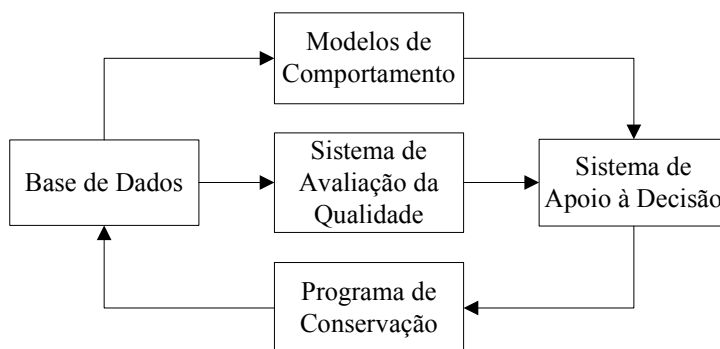


Figura 2.1 - Estrutura de um Sistema de Gestão de Pavimentos (Branco et al., 2006)

#### 2.1.1 Base de Dados Rodoviária

Uma Base de Dados Rodoviária constitui o núcleo de qualquer sistema. Esta regista todas as informações relevantes e trata os dados dos diferentes sectores de atividade dos diversos módulos do sistema. Numa primeira fase do seu funcionamento, são inseridas na base de dados as características dos respetivos projetos obtidos por consulta ou por vistoria ao local, isto é, são reunidos todos os dados que são fornecidos pelo exterior do sistema. Na fase de utilização, o utilizador realiza o pedido de informação geralmente facilitado pela existência de “menus” de procura de informação e esses pedidos são executados pelo sistema (Branco *et al.*, 2006).

A Base de Dados Rodoviária é configurada de acordo com o nível de administração das estradas, quer seja ao nível de rede ou ao nível de projeto, de forma a responder às necessidades específicas relacionadas com a avaliação da qualidade dos pavimentos e a aplicação da ferramenta de apoio à decisão (Ferreira *et al.*, 2009a).

Segundo Ferreira *et al.* (2009a), as características relevantes dos pavimentos são identificadas e incluídas na Base de Dados Rodoviária a fim de proporcionar à ferramenta de avaliação da qualidade uma descrição da situação existente em relação ao estado de conservação dos pavimentos. A ferramenta de apoio à decisão também é considerada na escolha das características relevantes a incluir na Base de Dados Rodoviária.

As características relevantes para a ferramenta de avaliação da qualidade dos pavimentos podem ser obtidas de forma manual ou forma automática. A forma manual consiste num levantamento visual em que o operador se desloca a pé, ao longo do trecho, e regista as degradações observadas de acordo com um catálogo de patologias e preenche uma ficha de observação dos pavimentos (Quadro 2.1) com auxílio de uma régua e uma roda de medição.

Quadro 2.1 - Ficha de observação dos pavimentos

Nome do observador:		Trecho n.º:		Data da observação: .../.../....	
Estrada:		Data de construção: .../.../...		Estrutura do pavimento:	
Classe da estrada:		Data da última reabilitação: .../.../...		Desgaste	
Classe de tráfego:		TMDA:		Regularização	
Comprimento médio do trecho:		TMDAp:		Base	
Largura média do trecho:				Sub-base	
				Leito do pav.	
				CBR= %	
				Material	
				Esp. (m)	

Distância (m)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Fendilhamento											
Pele de crocodilo											
Covas											
Peladas											
Def. localizada											
Rodeiras											
Reparações											
Irregularidade											
Aderência											

De forma a reduzir a subjetividade presente numa avaliação visual de um pavimento é utilizado um catálogo de patologias (Quadro 2.2) que agrupa as degradações em três níveis de gravidade de acordo com as características da degradação. Os níveis gravidade variam de um a três, sendo que um é o menor nível de gravidade e três é o maior nível de gravidade.

Quadro 2.2 - Área ou valor adotado em cada de gradação consoante o nível de gravidade (Picado-Santos e Ferreira, 2004)

Degradação	Gravidade	Descrição	Área afetada/valor adotado
Fendilhamento	1	Fenda isolada	0,5m × comprimento afetado
	2	2mm<Abertura da fenda ramificada<4mm	2,0m × comprimento afetado
	3	Fenda ramificada com abertura>4mm	Largura da via × comprimento afetado
Pele de Crocodilo	1	Fendas com abertura<2 mm e malha>20 cm	Largura da via × comprimento afetado
	2	Fendas com abertura<2mm e malha<20 cm, ou fendas com 2mm<abertura<4mm, ou fendas com abertura>4mm e malha>40cm	Largura da via × comprimento afetado
	3	Fendas com abertura>4mm e malha<40cm	Largura da via × comprimento afetado
Peladas	1	Peladas com largura<50cm	0,5m × comprimento afetado
	2	50cm<Largura das peladas<200cm	2,0m × comprimento afetado
	3	Peladas com largura>200cm	Largura da via × comprimento afetado
Covas	1	Profundidade máxima da cavidade<2cm	0,5m × comprimento afetado
	2	2cm<Profundidade máxima da cavidade<4cm	2,0m × comprimento afetado
	3	Profundidade máxima da cavidade>4cm	Largura da via × comprimento afetado
Reparações	1	Reparações bem executadas	1/4×Largura da via × comprimento afetado
	2	Reparações com baixa qualidade de execução ou má elaboração das juntas	1/2×Largura da via × comprimento afetado
	3	Reparações mal executadas	Largura da via × comprimento afetado
Rodeiras	1	Profundidade máxima da rodeira<10mm	Rt = 10mm
	2	20mm<Profundidade máxima da rodeira<30mm	Rt = 30mm
	3	Profundidade máxima da rodeira>30mm	Rt = 50mm
Irregularidade Longitudinal	1	Utilizador não sente vibrações quando se desloca num veículo ligeiro	IRIt = 2.000 mm/km
	2	Pequenas vibrações são sentidas ocasionalmente pelo utilizador quando se desloca num veículo ligeiro	IRIt = 3.500 mm/km
	3	Pequenas vibrações em quase toda a extensão e/ou grandes vibrações são sentidas ocasionalmente pelo utilizador	IRIt = 5.500 mm/km



Existem diversos equipamentos capazes de efetuar o levantamento de defeitos da superfície de rodagem de forma automática tais como, o *Automatic Road Analyser*, o *Laser Road Surface Tester* e o *VIZIROAD* (Hass *et al.*, 1994).

O *Automatic Road Analyser* (ARAN) consiste num conjunto de equipamentos instalados numa carrinha que registam os defeitos da superfície através de câmaras de filmar para posterior catalogação das patologias. Possui também sensores laser para medição das áreas de fendilhamento e instrumentos para avaliar o IRI e a profundidade das rodeiras.

O *Laser Road Surface Tester* (RST) utiliza uma barra laser, montada num veículo, para medir a profundidade e largura do fendilhamento, a profundidade das rodeiras, a macrotextura e o IRI. O RST poderá ser equipado com dispositivos GPS a fim de fornecer um posicionamento das degradações e câmaras de filmar para registo das mesmas.

O *VIZIROAD* é um conjunto de equipamentos de observação visual instalado em veículos (Figura 2.2) constituído por um computador, dois teclados e um Transformador Diferencial Variável. No computador é instalado o *software* de controlo que recebe a informação das degradações inserida por dois operadores nos teclados e as distâncias captadas pelo Transformador Diferencial Variável. Essa informação é posteriormente tratada de forma a ser enviada para a BDR.

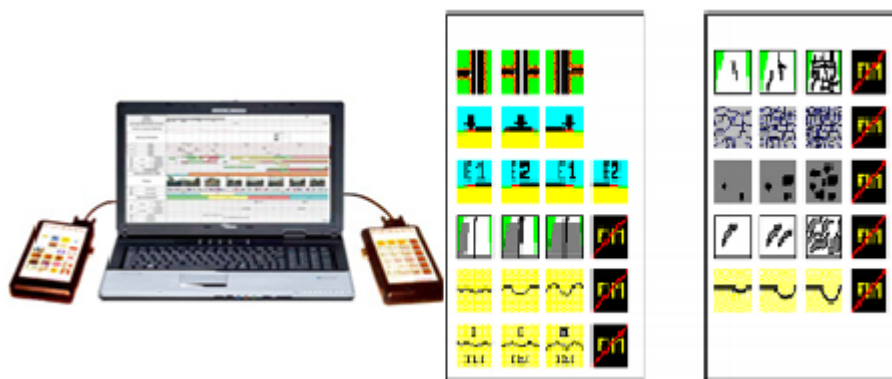


Figura 2.2 - Equipamento VIZIROAD (Picado-Santos *et al.*, 2006)

A Base de Dados Rodoviária contém também os seguintes dados; identificação e referenciação dos trechos rodoviários; tráfego; história dos pavimentos; tipo de pavimento; classificação das vias; restrições orçamentais; soluções de conservação e respetivos custos unitários.

### 2.1.1.1 Novos Desenvolvimentos nos Sistemas de Aquisição de Dados em Portugal

As atuais soluções de aquisição de dados são pouco eficientes a nível de tempo e de mão-de-obra ou consomem demasiados recursos. A aplicação iROAD é uma solução eficiente de baixo custo que recorre às novas tecnologias para agilizar o processo de recolha de dados dos pavimentos de redes rodoviárias (Ferreira *et al.*, 2014a).

Essa aplicação é executada num *Tablet* com sistema operativo *Android*, permitindo mobilidade e facilidade de utilização por parte dos operadores, tornando a aplicação flexível e adaptável às várias necessidades dos operadores que se podem deslocar num veículo ou a pé. O sistema encontra-se apresentado na (Figura 2.3) onde se podem visualizar as suas principais componentes.

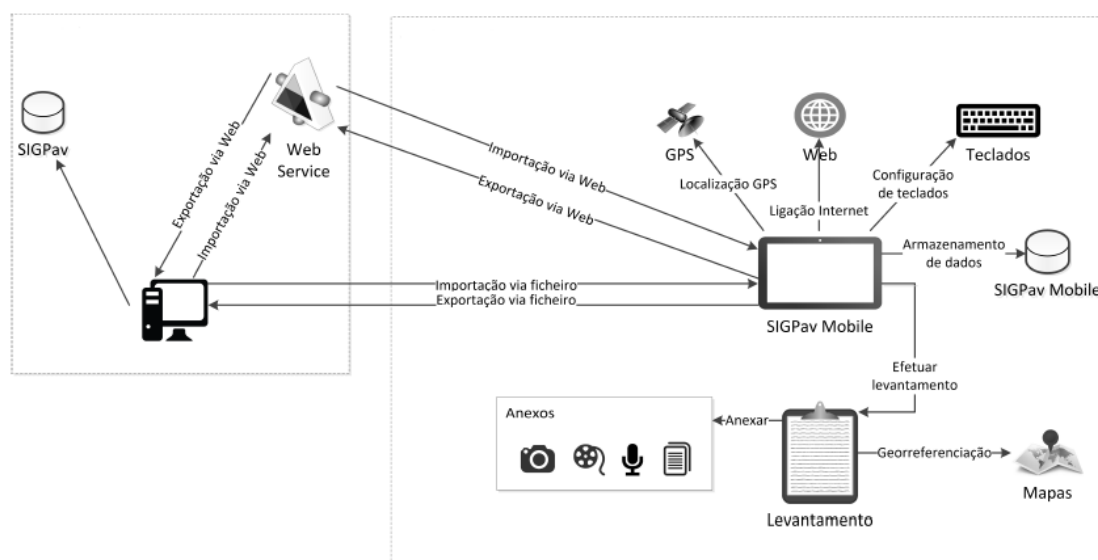


Figura 2.3 - Arquitetura geral do sistema (Oliveira, 2014)

Nos levantamentos da rede são registadas todas as características encontradas na secção com recurso aos ícones dos teclados correspondentes aos diferentes parâmetros de qualidade. Estas características podem ser pontuais tais como tampas de esgoto ou sinalização vertical, ou contínuas, tais como o fendilhamento, a pele de crocodilo, etc. As características são georreferenciadas com recurso ao *Global Positioning System* (GPS) e para complementar a informação registada por este sistema é possível adicionar informação adicional em formato de imagem, vídeo, texto ou notas áudio. Caso exista uma ligação de dados disponível, é possível visualizar a informação registada nos mapas de uso livre designado por *OpenStreetMap* (Figura 2.4).



Figura 2.4 - Levantamento com apoio do *OpenStreetMap* (Ferreira *et al.*, 2014a)

Para validação dos levantamentos feitos com a aplicação iROAD foram realizados alguns testes em várias secções do Município de Coimbra. Nestes testes foram realizados levantamentos manuais usando uma ficha de observação e uma roda de medição de distâncias e a aplicação iROAD, realizando as medições com o GPS. O equipamento escolhido para execução dos testes foi o Samsung Galaxy Tab3 10.1 usando o GPS interno para a recolha das coordenadas de georeferenciação.

Existem ainda algumas oscilações entre as medições efetuadas manualmente (Quadro 2.3), o que se deve a problemas de *hardware* e/ou problemas de *software*. Para obtenção de coordenadas, o sistema operativo *Android* usa uma série de parâmetros de configuração que visam a poupança de bateria em sacrifício da precisão e rapidez do GPS. Essas configurações já foram alteradas com o objetivo de melhorar a precisão mesmo que não sejam favoráveis ao consumo de bateria. No entanto, essas novas configurações ainda não foram testadas (Ferreira *et al.*, 2014a).

Quadro 2.3 - Comparação entre medições

Trecho	Comprimento do levantamento manual (m)	Comprimento do levantamento com iROAD (m)	Diferença (m)	Erro (%)
9b	357,9	345,7	12,2	3,4
10a	1520,9	1465,1	55,8	3,7
11a	50,1	53,6	-3,5	6,9
11b	59,0	56,9	2,1	3,5

Para além dessas configurações de obtenção de coordenadas, também existe a pretensão de fazer alterações no método de cálculo da distância, que à data dos levantamentos, eram calculadas usando os métodos integrados no sistema operativo *Android* que fazem o cálculo da distância medindo-a entre dois pontos em linha reta. Visto que uma distância medida em linha reta é inferior à distância medida sob uma linha curva, os resultados são tendencialmente inferiores.

A nível de antena do GPS, existem algumas variações na sua precisão que influenciam os resultados, isto porque a precisão não é prioridade neste tipo de dispositivos, o que compromete os resultados.

### **2.1.2 Sistema de Avaliação da Qualidade dos Pavimentos**

A partir da informação armazenada e manipulada na Base de Dados Rodoviária, o Sistema de Avaliação da Qualidade dos Pavimentos é capaz de disponibilizar o estado de conservação dos pavimentos em determinado instante e dar essa informação ao gestor rodoviário. A avaliação da qualidade dos pavimentos pode ser realizada segundo três metodologias diferentes: avaliação global; avaliação paramétrica; e avaliação mista.

#### ➤ Avaliação global

A avaliação global, a mais utilizada na rede rodoviária de Portugal (Ferreira e Picado-Santos, 2007; Ferreira e Meneses, 2006; Meneses e Ferreira, 2004; Picado-Santos *et al.*, 2004; Santos e Ferreira, 2013), consiste na agregação pesada dos parâmetros de estado dos pavimentos num índice global capaz de traduzir o estado dos pavimentos numa nota global. O peso de cada parâmetro de estado é atribuído consoante a política de conservação e o desenvolvimento da rede rodoviária.

Esta metodologia apresenta como principais vantagens a facilidade de classificar o estado dos pavimentos através de uma nota única atribuída a cada trecho do pavimento e a representação cartográfica clara e evidente do estado de conservação dos pavimentos da rede rodoviária. Apresenta ao mesmo tempo como desvantagens a possibilidade da mesma nota representar diferentes estados dos pavimentos devido à compensação dos parâmetros e a dificuldade na definição dos coeficientes de ponderação a atribuir a cada parâmetro de estado considerado no algoritmo de cálculo da nota global (Branco *et al.*, 2006).

Existem diversos índices desenvolvidos nesta metodologia para pavimentos flexíveis, entre outros, podem referir-se os seguintes (Paterson, 1987): *Present Serviceability Index* (PSI)

resultante dos estudos dos ensaios da AASHO; a nota R, utilizada pelo sistema de gestão do estado de Washington nos Estados Unidos da América (EUA); o *Pavement Condition Index* (PCI), desenvolvido pelo sistema de gestão do estado Ontário no Canadá; e o *Pavement Condition Rating* (PCR), utilizado pelo sistema de gestão do estado de Ohio nos EUA. O índice de qualidade (IQ) mais utilizado na rede rodoviária portuguesa é o *Present Serviceability Index* (PSI), baseando-se na informação obtida no ensaio da AASHTO (Equação 2.1) e adotado pelo sistema de gestão de pavimentos do Estado do Nevada (Equação 2.2). Os índices são caracterizados através do estado da superfície do pavimento considerando os seguintes parâmetros de qualidade: fendilhamento; pele de crocodilo; covas; peladas; reparações; rodeiras; e irregularidade longitudinal.

$$PSI = 5,03 - 1,9 \log(1 + SV) - 0,01(C2 + P)^{0,5} - 1,38RD^2 \quad (2.1)$$

Onde:

- PSI* = Índice de qualidade do pavimento;  
*SV* = Variância de desníveis do perfil longitudinal medido na faixa de rodagem com perfilómetro CHLOE;  
*C2* = Proporção (1/1000) de superfície com pele de crocodilo ou com desagregação;  
*P* = Proporção (1/1000) de superfície com reparações localizadas;  
*RD* = Profundidade média (polegadas) das rodeiras.

$$PSI_t = 5 - e^{-0,0002598 \times IRI_t} - 0,002139 \times R_t^2 - 0,03 \times (C_t + S_t + P_t)^{0,5} \quad (2.2)$$

Onde:

- PSI<sub>t</sub>* = Índice de qualidade do pavimento no ano t;  
*IRI<sub>t</sub>* = Irregularidades longitudinais no ano t;  
*R<sub>t</sub>* = Profundidade média das rodeiras no ano t (mm);  
*C<sub>t</sub>* = Área com fendilhamento e pele de crocodilo no ano t;  
*S<sub>t</sub>* = Área de covas e peladas no ano t;  
*P<sub>t</sub>* = Área com reparações no ano t.

### ➤ Avaliação Paramétrica

A metodologia de avaliação paramétrica considera a definição de valores, ou intervalos de valores, para cada um dos parâmetros considerados relevantes para a caracterização do estado do pavimento em função das consequências previsíveis para os utentes ou para o pavimento. Em princípio, estas classes são definidas em função das consequências que o estado do

pavimento correspondente a cada uma delas terá quer para a qualidade estrutural, quer para a qualidade funcional do pavimento (Pereira e Miranda, 1999).

A avaliação da rede é realizada através da verificação de percentagem de área degradada dos diferentes parâmetros de estado e comparando os valores das percentagens de degradação existentes numa determinada data com os valores pré estabelecidos. Seguidamente é efetuada a definição dos trabalhos de conservação que deverão ser realizados na rede rodoviária ao nível dos pavimentos.

Este tipo de metodologia tem como inconvenientes o facto de requerer um grande volume de informação e uma análise muito exaustiva ao ter que considerar vários parâmetros em separado. No entanto, permite uma definição mais correta do estado do pavimento, possibilitando assim uma maior precisão na escolha do tipo de intervenção que deverá ser tomada na vida do pavimento.

#### ➤ Avaliação Mista

Uma avaliação mista considera uma combinação entre os dois tipos de avaliação anteriormente descritos, pretendendo-se neste caso a eliminação das desvantagens associadas à análise global e manter as vantagens associadas à análise paramétrica. Este tipo de avaliação consiste na combinação de diferentes parâmetros de estado de modo a definir classes de estado de conservação de cada trecho de pavimento observado, utilizando grelhas de dupla ou tripla entrada (Branco *et al.*, 2006).

Grande parte das administrações opta por este tipo de avaliação, tal como o estado da Califórnia que utiliza trechos de 60 metros de extensão para a análise das degradações da superfície do pavimento. As degradações são quantificadas quanto ao tipo, extensão e gravidade considerando o fendilhamento, a pele de crocodilo, as rodeiras, as reparações parciais e o estado das bermas (Paterson, 1987). A metodologia desenvolvida para a antiga Junta Autónoma de Estradas (JAE) utiliza uma grelha de tripla entrada onde são combinados três parâmetros (Pereira e Miranda, 1999): a capacidade de suporte (deflexão); o estado superficial do pavimento; e a irregularidade longitudinal. A consideração desses 3 parâmetros e as suas diferentes classes, através de uma grelha de tripla entrada, permite a definição de 90 estados possíveis para cada trecho (3 classes de deflexão × 10 classes de estado × 3 classes de irregularidade longitudinal).

### 2.1.3 Sistema de Apoio à Decisão

O Sistema de Apoio à Decisão permite a definição das melhores estratégias de aplicação de recursos mediante os objetivos e metas a alcançar pela administração rodoviária. Promove também o equilíbrio quando existem conflitos de interesse na escolha das soluções de intervenção que minimizem os custos para a administração e ao mesmo tempo minimizem os custos para os utentes.

O planeamento das atividades de conservação deve ser executado tendo em conta o tempo e o espaço da rede, sendo que a administração tem o dever de decidir sobre qual a metodologia de programação a adotar. Segundo Picado-Santos e Ferreira (2004), as administrações dispõem de três metodologias diferentes a adotar:

- Programação corretiva a um ano por níveis mínimos de qualidade;
- Programação plurianual corretiva-preventiva com objetivo de minimizar os custos de conservação;
- Programação plurianual corretiva-preventiva com o objetivo de minimizar todos os custos.

Na programação corretiva a um ano por níveis mínimos de qualidade (NMQ) são definidos valores mínimos de qualidade para os parâmetros de estado dos pavimentos. Os trechos que possuem valores abaixo do nível estabelecido são selecionados de forma que seja estabelecido o tipo de intervenção de recuperação e os respetivos custos unitários.

Com a programação plurianual corretiva-preventiva com objetivo de minimizar os custos de conservação são estabelecidos níveis mínimos de qualidade para os parâmetros de estado dos pavimentos. No entanto para que seja acionada uma ação de conservação o estado do pavimento não necessita de se encontrar no nível mínimo. O período de programação dos trabalhos é efetuado para o ano do levantamento e o restante período de planeamento tendo como objetivo a minimização dos custos de conservação (Min. CC). Dado que o planeamento das intervenções é realizado ao longo de um período de planeamento, existe a necessidade de prever o estado de conservação ao longo do tempo, o que implica a utilização de modelos de comportamento dos pavimentos.

A programação plurianual corretiva-preventiva com o objetivo de minimizar todos os custos é idêntica à programação plurianual corretiva-preventiva com objetivo de minimizar os custos de conservação. No entanto, considera adicionalmente os custos para os utentes (CU) e o valor residual dos pavimentos (VR).

Nos problemas de avaliação e decisão existem diversos critérios ou dimensões a ter em conta em simultâneo. Geralmente esses critérios estão em conflito e são expressos em unidades incomensuráveis. A adoção de um método de avaliação multicritério permite a seleção de estratégias de recuperação que mais se aproximam da solução ótima, dentro das soluções apresentadas e que satisfaçam as restrições de forma a otimizar as funções objetivo. No entanto, a aplicação de métodos de análise multicritério apresentam a desvantagem de aumentar a complexidade da formulação matemática dos Sistemas de Gestão de Pavimentos. Por esse motivo é frequentemente aplicar uma análise de otimização monocritério (Fwa *et al.*, 2000; Wu e Flintsch, 2009).

## 2.2 Sistema de Gestão de Pavimentos do Município de Viseu

O Sistema de Gestão de Pavimentos (SGP) foi proposto inicialmente ao Município de Viseu no ano de 2008, tendo sido continuado e melhorado até ao ano de 2012 (Figueiredo, 2008; Ferreira, 2011; Jorge e Ferreira 2012). Este SGP é constituído por uma Base de Dados Rodoviária (BDR), um Sistema de Avaliação da Qualidade dos pavimentos (SAQ) e por um Sistema de Apoio à Decisão (SAD) (Figura 2.5). Este SGP surge na mesma linha de investigação dos investigadores do DEC-UC que propuseram o primeiro SGP aplicado a um município em Portugal, o SGP do Município de Lisboa.

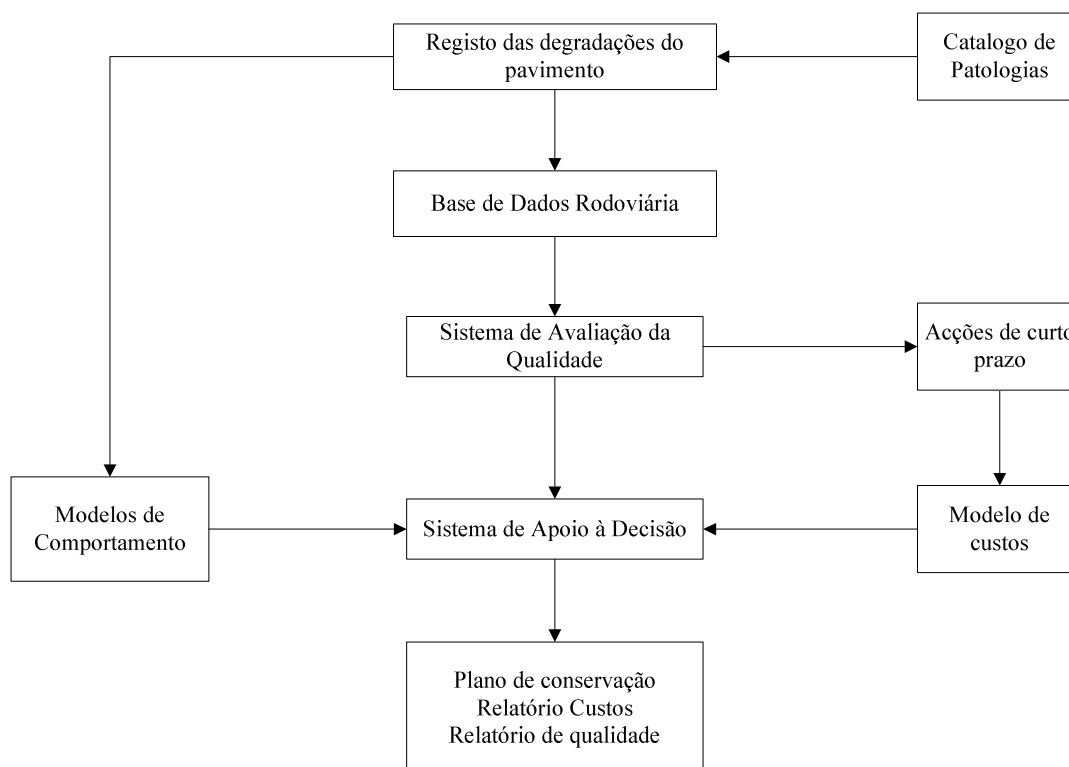


Figura 2.5 - Estrutura do Sistema de Gestão de Pavimentos do Município de Viseu



A Base de Dados é composta pelos seguintes grupos de informação: identificação e referenciação dos trechos rodoviários; tipo de pavimento; história dos pavimentos; condições climáticas; caracterização do tráfego; obras de construção e manutenção; avaliação da qualidade dos trechos; e os dados resultantes da aplicação do sistema.

Na ferramenta de avaliação da qualidade dos pavimentos é considerada uma análise mista, considerando separadamente os valores de cada parâmetro de estado (fendilhamento, pele de crocodilo, covas, peladas, reparações, rodeiras e irregularidade longitudinal) mas também um índice de qualidade do pavimento, o *Present Serviceability Index* (PSI) (Equação 2.3), o mesmo índice utilizado no Sistema de Gestão de Pavimentos proposto para o município de Lisboa (Picado-Santos et al., 2006). O cálculo do PSI é efetuado tendo em conta os níveis de gravidade definidos para cada parâmetro de estado.

$$PSI_t = 5 - e^{\frac{-0,0002598 \times IRI_t}{4}} - \frac{0,002139 \times R_t^2}{4} - 7 \times 0,03 \times (C_t + S_t + P_t)^{0,5} \quad (2.3)$$

$$PSI_t = 5 - e^{-0,000065 \times IRI_t} - 0,0005348 \times R_t^2 - 0,21 \times (C_t + S_t + P_t)^{0,5} \quad (2.4)$$

Onde:

$PSI_t$	=	Índice de qualidade do pavimento no ano t;
$IRI_t$	=	Irregularidades longitudinais no ano t;
$R_t$	=	Profundidade média das rodeiras no ano t (mm);
$C_t$	=	Área com fendilhamento e pele de crocodilo no ano t;
$S_t$	=	Área de covas e peladas no ano t;
$P_t$	=	Área com reparações no ano t.

A Equação (2.4) apresentada anteriormente é uma versão modificada da equação utilizada no Sistema de Gestão de Pavimentos utilizado no Estado do Nevada. No entanto procedeu-se a uma alteração nos pesos dos parâmetros de estado de forma a ajustar o cálculo do índice de qualidade a uma rede rodoviária municipal, reduzindo a contribuição da irregularidade longitudinal e das rodeiras, e aumentando a contribuição do fendilhamento, da pele de crocodilo, das covas e peladas e das reparações.

O Sistema de Apoio à Decisão (SAD) tem como objetivo a minimização dos custos totais de conservação e a maximização da qualidade da rede rodoviária (Figura 2.6). Este é constituído pelas seguintes componentes: o objetivo de análise; os dados do pavimento e os modelos; as restrições que o modelo deve garantir; e os resultados (Ferreira *et al.*, 2009b).

A principal diferença entre o SAD aplicado em Lisboa e o SAD aplicado em Viseu consiste na substituição dos modelos de previsão de comportamentos dos pavimentos do *World Bank Highway Design and Maintenance Standards Model III* (HDM-III) pelos modelos de previsão de comportamentos dos pavimentos *Highway Development and Management System 4* (HDM-4). Os modelos HDM conseguem prever o desempenho para cada tipo de degradação ao longo do tempo e por esse motivo são utilizados por agências de crédito, governos e departamentos responsáveis por investigar as consequências económicas de investimentos em infraestruturas rodoviárias. Estes modelos foram obtidos através do estudo de colaboração rodoviário chamado *International Study of Highway Development and Management* (ISOHDM) tendo como principais financiadores o Banco de Desenvolvimento Asiático, o Departamento de Estradas do Reino Unido, a Administração de Estradas da Suécia e o Banco Mundial (Jorge, 2010).

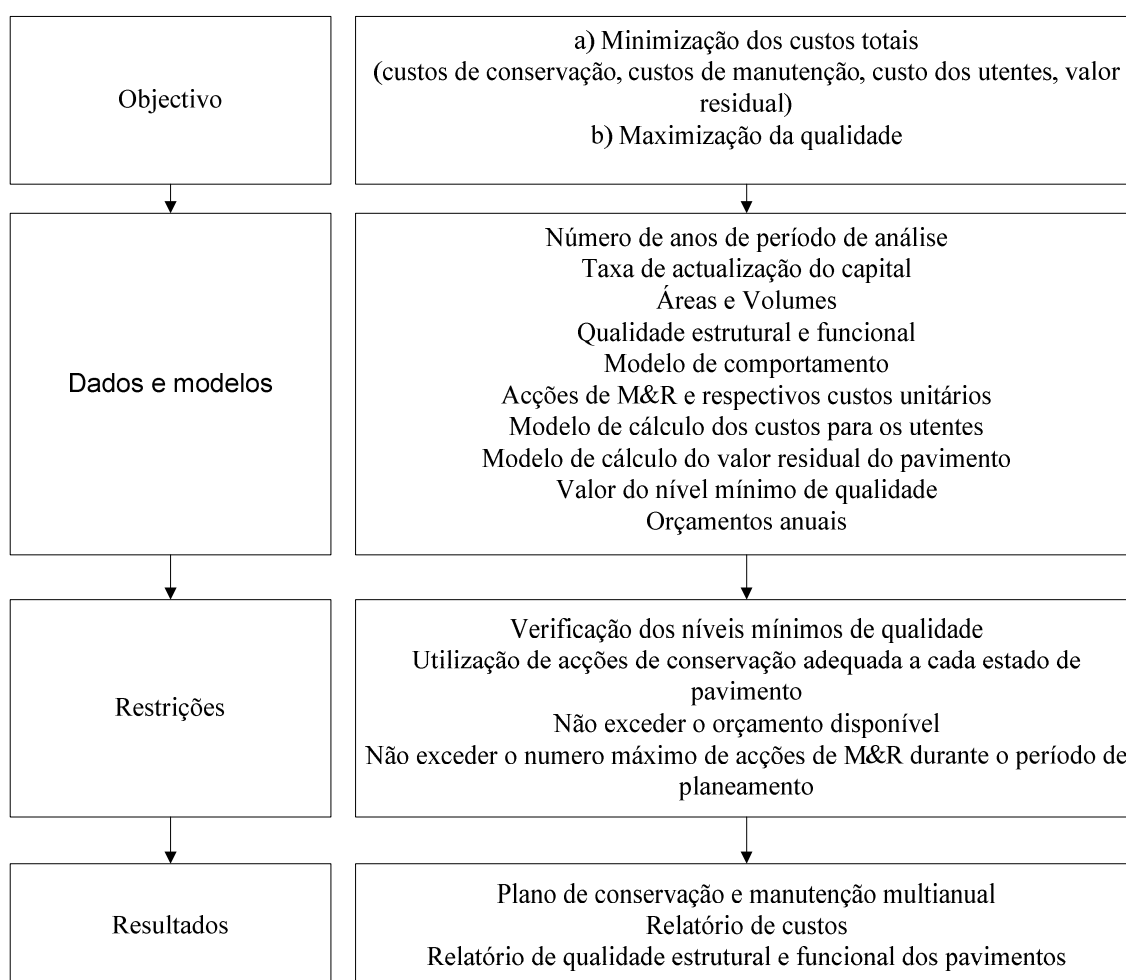


Figura 2.6 - Sistema de Apoio à Decisão do SGP de Viseu (Jorge e Ferreira, 2012)

Os modelos de previsão de comportamento dos pavimentos HDM-4 foram implementados no programa GENEPAV-HDM4 utilizando a linguagem de programação do *Microsoft Visual Studio*, adaptando e introduzindo novas funcionalidades a um algoritmo já existente, designado por GENETIPAV-D (ISOHDM, 1995; Ferreira, 2001) previamente desenvolvido para resolver modelos de otimização determinísticos e desagregados tendo como objetivo a minimização de custos.

A metodologia adotada consiste na definição de níveis mínimos de qualidade, ou seja os valores mínimos considerados para o PSI e os valores máximos considerados para as restantes degradações (Quadro 2.4).

Quadro 2.4 - Níveis mínimos de qualidade (Jorge e Ferreira, 2012)

Parâmetro de qualidade do pavimento	Valor
Fendilhamento	Área afetada = 20,0%
Rodeiras	Profundidade média das rodeiras = 20 mm
Covas e peladas	Área afetada = 20,0%
Irregularidade longitudinal	IRI = 5500 mm/km
Índice global de qualidade	PSI = 1,5

Para este estudo foram consideradas nove ações de conservação dos pavimentos, com os respetivos custos unitários, considerando três estratégias de conservação diferentes: a Estratégia I corresponde a uma política corretiva, abrangendo apenas as operações simples de manutenção e reabilitação (M&R); a Estratégia II corresponde a uma abordagem de otimização dos custos de conservação (corretiva, preventiva), envolvendo todas as possíveis operações de M&R; e a Estratégia III corresponde a uma abordagem de otimização (corretiva, preventiva) dos custos totais (somatório dos custos de conservação e dos custos para os utentes, deduzindo o valor residual dos pavimentos no último ano do período de planeamento).

### 2.3 Sistema de Gestão de Pavimentos Flexíveis Proposto para o Estado do Ceará

O Sistema de Gestão de Pavimentos proposto para o estado do Ceará é composto por uma BDR, por um SAQ e por um SAD. As ferramentas de análise que o compõem devem seguir a seguinte cronologia de atividades: dimensionamento das Unidades de Amostragem (UAs); estabelecimento de um Plano de Monitorização; elaboração de Modelos de Previsão de Desempenho dos pavimentos; Elaboração de Árvores de Decisão para a seleção das Técnicas Alternativas de Manutenção e Reabilitação; estabelecimento do Método de Priorização (Albuquerque, 2007).

As UAs são os trechos representativos preestabelecidos de acordo com as características de tráfego, clima, estrutura dos pavimentos, idade, estado da superfície e geometria da malha rodoviária. Estas têm como principal objetivo fornecer um mecanismo de otimização das campanhas de levantamentos defletométricos com FWD e de levantamentos da irregularidade longitudinal (IRI). Para o dimensionamento das UAs é realizado um levantamento visual contínuo de forma a determinar segmentos homogêneos (STH) dentro de cada trecho estabelecido pelo Plano Nacional Viário, onde as UAs representam um quilómetro desse trecho (Visconti, 2000). Em cada UAs são estabelecidos 3 segmentos testemunha, no início, no meio e no fim, com 100 metros de comprimento onde são estabelecidas as áreas de levantamento de degradações de 6m de extensão no início e no final dos segmentos testemunha (Figura 2.7).

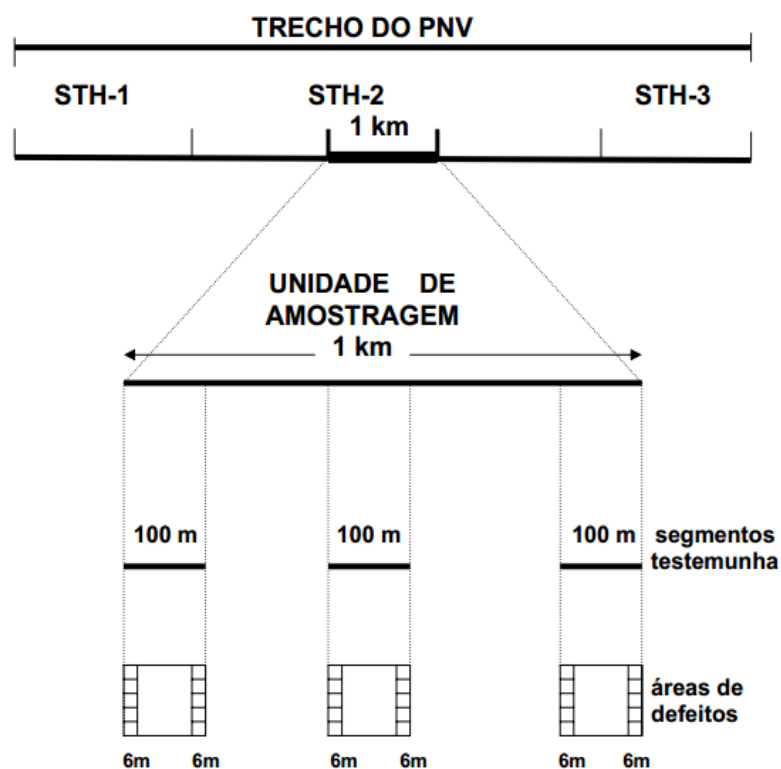


Figura 2.7 - Esquema gráfico para definição de Unidades de Amostragem de acordo com a metodologia do DNIT (Visconti, 2000)

A Base de Dados Rodoviária armazena todas as partes integrantes do Sistema de Gestão de Pavimentos contendo os dados pluviométricos, altitude, contagens de tráfego, datas de intervenções, espessura e tipo de materiais utilizados na construção, classificação e distribuição espacial dos solos, levantamento defletométricos com FWD e levantamento do IRI. Na Figura 2.8 podem observar-se as principais componentes da BDR.



Figura 2.8 - Atividades do SGP que integram a BDR (Cardoso, 1994)

No SAQ utilizado no estado do Ceará são considerados dois parâmetros de qualidade dos pavimentos: a Deflexão Máxima com FWD ( $D_{0FWD}$ ) e a Irregularidade Longitudinal (IRI), e um índice de qualidade do pavimento o Índice de Condição do Pavimento (PCR).

O cálculo do índice de qualidade do pavimento *Pavement Condition Rating* (PCR) é baseado na metodologia utilizada pelo Departamento de Transportes do estado de Ohio sendo calculado através da Equação (2.5). Para o cálculo do PCR são considerados cinco tipos de degradações superficiais: rodeiras; desgaste superficial; reparações; fendilhamento em bloco (causado pela variação volumétrica das camadas ligadas, devido à variação da temperatura, que por sua vez induz tensões de tração superiores às tensões de rutura do material ligado); e fendilhamento. Os dados referentes à extensão e severidade das degradações superficiais são obtidos através de um levantamento visual contínuo realizado em toda a largura e extensão do pavimento. Os restantes parâmetros são obtidos diretamente através dos respetivos levantamentos.

Um pavimento novo apresenta um PCR igual a 100 e à medida que os defeitos surgem são contabilizados e é calculado o Valor Deduzido associado a cada defeito (Equação 2.6) através da multiplicação entre o Fator de Equivalência (Quadro 2.5) e a extensão relativa do defeito no trecho analisado (Albuquerque, 2007).

$$PCR_t = 100 - \sum VD, \text{ com } 0 \leq \sum VD \leq 100 \quad (2.5)$$

$$VD = \frac{FE \times x_i}{x_t} \quad (2.6)$$

Onde:

- $PCR_t$  = Pavement Condition Rating no ano t;  
 $VD$  = Valor Deduzido;  
 $FE$  = Fator de Equivalência;  
 $x_i$  = Extensão do Defeito (m);  
 $x_t$  = Extensão do Segmento (m).

Quadro 2.5 - Fator de Equivalência (Albuquerque, 2007)

Tipo de Degradação	Descrição	Extensão do Defeito (%)		Severidade	Fator de Equivalência (FE)
		Mínimo	Máximo		
Rodeiras	Pouco	0	8	0	0,10
	Razoável	8	20	1	0,30
	Alto	20	40	2	0,50
	Excessivo	40	100	3	0,80
Desgaste Superficial	Pouco	0	8	0	0,10
	Razoável	8	35	1	0,30
	Alto	35	60	2	0,50
	Excessivo	60	100	3	0,80
Reparações	Pouco	0	6	0	0,10
	Razoável	6	17	1	0,30
	Alto	17	32	2	0,50
	Excessivo	32	100	3	0,80
Fendilhamento em Bloco	Pouco	0	8	0	0,10
	Razoável	15	20	1	0,30
	Alto	50	40	2	0,50
Fendilhamento	Excessivo	70	100	3	0,80
	Pouco	0	15	0	0,10
	Razoável	15	32	1	0,30
	Alto	32	60	2	0,50
Fendilhamento	Excessivo	60	100	3	0,80

A Figura 2.9 apresenta a classificação para cada intervalo de valores de PCR proposta para o SGP do estado do Ceará. Esta classificação baseia-se no SGP do Departamento de Transportes do Estado Americano de Ohio (ODOT, 2004).

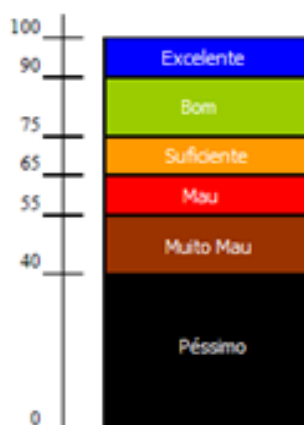


Figura 2.9 - Classificação funcional do pavimento (ODOT, 2004)

O Sistema de Apoio à Decisão utiliza modelos de previsão de desempenho dos pavimentos do tipo empírico-determinísticos, elaborados por regressão com Crescimento Exponencial no caso da  $IRI_t$  (Equação 2.7) e  $D_{0FWD_t}$  (Equação 2.8) e utiliza o método de estimativa Quasi-Newton e Regressão Múltipla Linear no caso do  $PCR_t$  (Equação 2.9) (Albuquerque, 2007).

Estes modelos são codificados por variáveis independentes  $N$ ,  $S$ , e  $C$ . Onde  $N$  é o número acumulado de tráfego calculado através dos fatores de carga da AASHTO,  $S$  é a capacidade estrutural do pavimento determinado pelo método da AASHTO, e  $C$  é a classificação climática (Quadro 2.6) utilizada pela Organização das Nações Unidas para a Educação Ciência e Cultura (UNESCO) (Albuquerque, 2007).

$$IRI_t = -173,35 + e^{(5,1770 + 0,0011 \times C - 0,0023 \times S + 0,0046 \times N)} \quad (2.7)$$

$$D_{0FWD_t} = e^{(3,6783 + 0,0601 \times C - 0,3263 \times S - 14,6 \times N)} \quad (2.8)$$

$$PCR_t = 71,3 - 4,1 \times C + 3,5 \times S - 14,6 \times N \quad (2.9)$$

$$N_{PCR} = \frac{N_{acum} - 8,51 \times 10^6}{8,49 \times 10^6} \quad (2.10)$$

$$N_{IRI} = \frac{N_{acum} - 8,58 \times 10^6}{5,47 \times 10^6} \quad (2.11)$$

$$N_{D0_{FWD}} = \frac{N_{acum} - 6,54 \times 10^6}{6,53 \times 10^6} \quad (2.12)$$

$$S_{PCR} = \frac{SNC - 3,17}{2,11} \quad (2.13)$$

$$S_{IRI} = \frac{SNC - 3,17}{2,11} \quad (2.14)$$

$$S_{D0_{FWD}} = \frac{SNC - 3,17}{2,11} \quad (2.15)$$

$$SNC = \sum a_i \times H_i + 3,5 \times \log(CBR) - 8,5 \times \log(CBR)^2 - 1,43 \quad (2.16)$$

Quadro 2.6 - Classificação climática da UNESCO (Albuquerque, 2007)

Classificação Climática da UNESCO C				
Húmido	Sub-húmido húmido	Sub-húmido Seco	Semi-árido	Árido e hiper- árido
(-1)	(-0,5)	(0)	(+0,5)	(+1)
$I_A > 1,0$	$0,65 < I_A < 1,00$	$0,50 < I_A < 0,65$	$0,20 < I_A < 0,50$	$I_A < 0,20$

$$I_A = \frac{P_r}{ET_0} \quad (2.17)$$

Onde:

- $IRI_t$  = Irregularidade longitudinal no ano t;  
 $D_{0FWDt}$  = Deflexão determinada com FWD no ano t;  
 $PCR_t$  = *Pavement Condition Rating* no ano t;  
 $C$  = Classificação climática;  
 $S$  = Capacidade estrutural do pavimento;  
 $N$  = Número acumulado de tráfego;  
 $N_{acum}$  = Número acumulado de solicitações de eixos padrão de 8,2 tf ;  
 $SNC$  = Número estrutural corrigido;  
 $a_i$  = Coeficiente estrutural corrigido da camada i;  
 $H_i$  = Espessura da camada i;  
 $CBR$  = *California Bearing Ratio*  
 $I_A$  = Índice de Aridez;  
 $P_r$  = Precipitação média (mm);  
 $ET_0$  = Evapotranspiração potencial (mm).



Os critérios de reparação dos trechos baseiam-se numa metodologia de mínimos de qualidade do parâmetro de estado IRI e do índice de qualidade do pavimento PCR, utilizando faixas dos valores do IRI e do PCR para determinar e indicar as alternativas de manutenção através de *Árvores de Decisão* (Figura 2.10).

A grande vantagem da utilização de uma metodologia baseada numa *Árvore de Decisão* é a possibilidade de transformar ou decompor um problema complexo em diversos subproblemas de resolução mais simples.

Para a construção da *Árvore de Decisão*, os parâmetros de qualidade são agrupados numa sequência segundo a sua relevância, e são traçadas as diretrizes que indicam as soluções de recuperação até que se chegue ao resultado final.

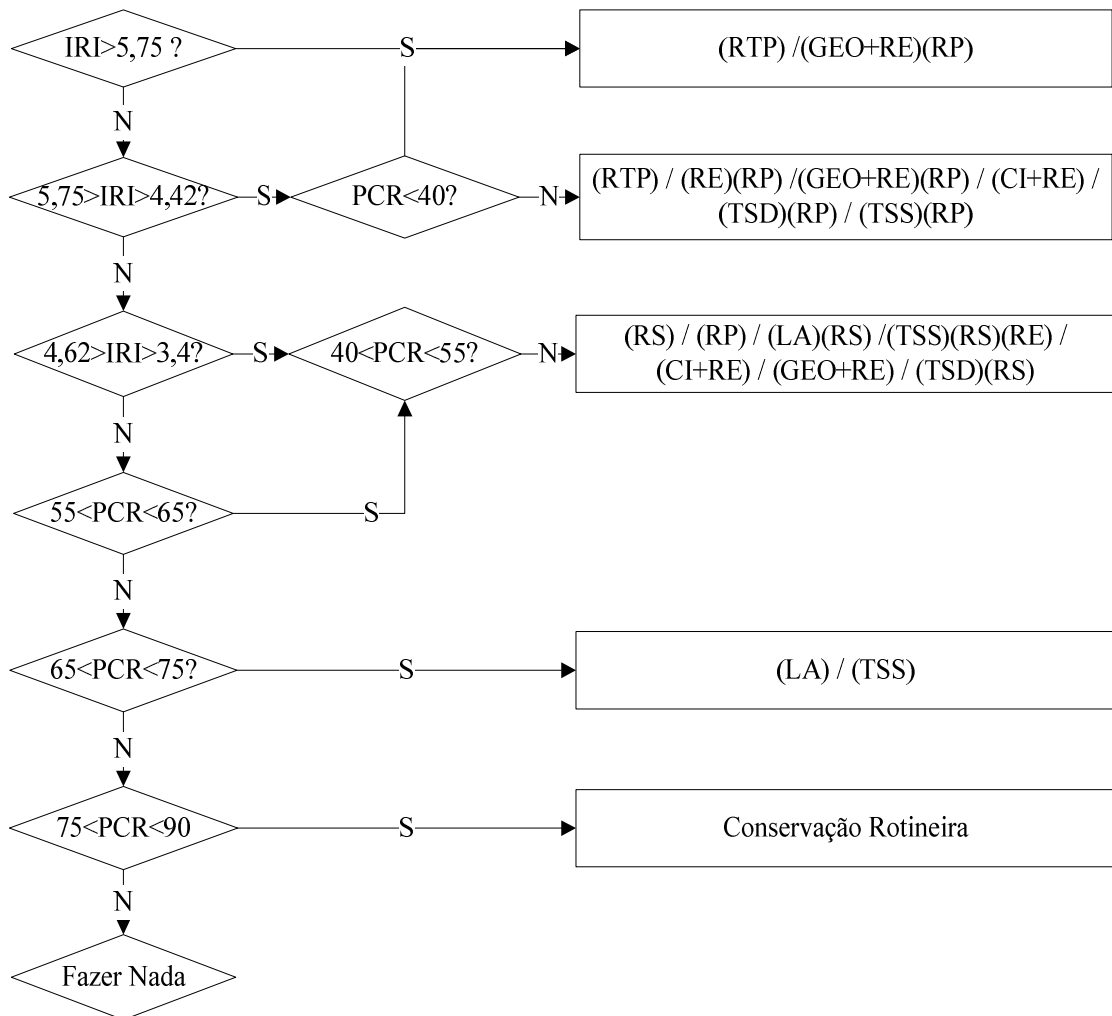


Figura 2.10 - *Árvore de Decisão* das soluções de reparação a aplicar (Albuquerque, 2007)

Onde:

<i>RS</i>	=	Reparação superficial;
<i>RP</i>	=	Reparação profunda;
<i>RC</i>	=	Rega de colagem;
<i>TSS</i>	=	Tratamento superficial simples;
<i>TSD</i>	=	Tratamento superficial duplo;
<i>RE</i>	=	Reperfilamento;
<i>RRT</i>	=	Remoção e reconstrução total das camadas asfálticas;
<i>FR+RE</i>	=	Fresagem total ou parcial das camadas asfálticas e reperfilamento;
<i>CI+RE</i>	=	Remoção parcial do pavimento e aplicação de camada granular intermédia e reperfilamento;
<i>GEO+RE</i>	=	Rega de colagem e aplicação de manta anti propagação de fendas e reperfilamento;
<i>RTP</i>	=	Reconstrução total do pavimento.

O SAD efetua uma priorização dos trechos a recuperar aplicando um método de análise multicritério PROMETHEE II considerando critérios de cinco categorias diferentes (técnica, económica, social, ambiental e de transporte). Os resultados da análise multicritério são comparados com os resultados obtidos através do método de classificação direta do parâmetro PCR, menor PCR, e pelo método de classificação baseado na relação Benefício/Custo (Equação 2.18), maior Benefício/Custo.

$$\frac{\text{Benefício}}{\text{Custo}} = \frac{PCR_0 - PCR_{\text{atual}}}{CM} \times TMDA \quad (2.18)$$

Onde:

<i>CM</i>	=	Custo de manutenção do pavimento associado ao valor $PCR_{\text{atual}}$ do trecho rodoviário;
$PCR_{\text{atual}}$	=	Valor de PCR calculado com o modelo de previsão de desempenho para o ano de análise;
$PCR_0$	=	Valor de PCR calculado com o modelo de previsão de desempenho após a aplicação da intervenção;
<i>TMDA</i>	=	Tráfego Médio Diário Anual de veículos que circula no trecho rodoviário.

## 2.4 Considerações Finais

A informação apresentada neste capítulo permite um melhor conhecimento dos Sistemas de Gestão de Pavimentos e um melhor conhecimento dos diferentes sectores de atividade. A grande vantagem da aplicação destes sistemas reside na sua capacidade de apoio relativamente à decisão de aplicação dos recursos disponíveis.

A utilização de formas manuais de recolha de dados sobre a rede rodoviária apresenta uma baixa eficiência a nível do tempo e da mão-de-obra. Por outro lado, a aplicação de formas

automáticas de recolhas de dados convencionais são muito dispendiosas e não possibilitam a recolha de todas as informações relevantes no ato do levantamento.

A aplicação iROAD possibilita a configuração de um vasto conjunto de características a serem observados nas infraestruturas rodoviárias, quer seja pelo seu baixo custo de implementação ou pela redução dos recursos de mão-de-obra. É uma solução de baixo custo capaz de substituir os métodos manuais e automáticos atualmente existentes na grande parte das entidades gestoras de infraestruturas, adequada especialmente para Câmaras Municipais. No entanto os problemas ainda associados às oscilações das medições revelam a necessidade de melhoramentos na aplicação.

Ambos os SGP aplicados no Município de Lisboa e no Município de Viseu beneficiam das vantagens de utilização de uma avaliação mista na ferramenta de avaliação da qualidade dos pavimentos e de uma alteração aos pesos dos parâmetros de estado dos pavimentos de forma a ajustar o cálculo do índice de qualidade a uma rede rodoviária municipal.

Com a implementação do SGP, a Câmara Municipal de Viseu tem a capacidade de prever quais as mais vantajosas operações de manutenção e reabilitação a aplicar a cada trecho e a sua distribuição ao longo do período de planeamento. Tal é possível devido aos seguintes documentos produzidos: plano de conservação e manutenção multianual; relatório de custos; relatório de qualidade estrutural e funcional dos pavimentos. No entanto os modelos de comportamento HDM-4 devem ser calibrados de acordo com as condições locais de forma que as taxas de degradação dos pavimentos correspondam ao observado.

O modelo de otimização proposto para o Município de Viseu vem fechar uma lacuna da gestão de pavimentos que existia entre o nível de rede e o nível de projeto, uma das principais conclusões das mais recentes conferências internacionais de gestão de pavimentos. Isto é possível através de uma substituição da abordagem tradicional, que usa modelos de variáveis independentes no processo de degradação do pavimento (módulo de deformabilidade, coeficiente de Poisson, características dos agregados, etc) por uma abordagem que utiliza modelos de gestão de previsão do estado do pavimento com base nas degradações superficiais (fendilhamento, pele de crocodilo, peladas, covas, reparações, rodeiras, irregularidade longitudinal, aderência, etc.).

O estabelecimento de Unidades de Amostragem mostra-se ser um mecanismo eficaz na redução dos custos associados às campanhas de monitorização apresentado uma redução de até cerca de 75%, apresentado erros médios absolutos bastante baixos.

A utilização de *Árvores de Decisão* na definição das soluções de intervenção apresenta as seguintes vantagens: identifica as várias possibilidades analisadas pela relação entre os seus elementos; facilita a visualização do sistema; serve de base para as regras de referência; e apresenta todas as informações graficamente.

Neste capítulo referiu-se a importância de aplicação de métodos de análise multicritério na priorização dos trechos a intervir, considerando diferentes categorias de critérios representando as diferentes necessidades dos agentes de gestão rodoviários do estado do Ceará e, por outro lado, as necessidades da população.

Os SGP apresentados anteriormente apresentam muitas semelhanças em termos de funcionamento dos seus módulos estruturantes e ambos são aplicáveis tanto ao nível de rede como ao nível de projeto. A ferramenta de avaliação da qualidade e a ferramenta de apoio à decisão do SGP proposto para o estado do Ceará foram ajustados à dimensão da rede e às características ambientais da região.

## **3 ESTUDO DE CASO**

### **3.1 Introdução**

As vias de comunicação têm uma grande influência na qualidade de vida da população. A gestão destas infraestruturas tem como objetivo providenciar à população serviços de circulação eficientes e de qualidade a custos reduzidos. Essa gestão deve ser estruturada de modo a que o seu funcionamento possa articular-se de acordo com o contexto político (muitas vezes preponderante), orgânico, técnico, económico e com a identidade da qual se integra (Pereira e Miranda, 1999).

Através de uma análise dos Sistemas de Gestão de Pavimentos propostos para as redes rodoviárias dos municípios Portugueses constatou-se que existe uma necessidade de adaptação dos mesmos à situação económica e política do país.

Este capítulo apresenta uma proposta de implementação de um Sistema de Gestão de Pavimentos para a rede rodoviária do Município de Coimbra, pois até à data não existe nenhum em vigor.

O Caso de Estudo é dividido em cinco subcapítulos. No subcapítulo 3.1 é feito um enquadramento do Município de Coimbra e a descrição do funcionamento da Câmara municipal de Coimbra. No subcapítulo 3.2 é apresentada a rede rodoviária de Coimbra com a indicação das vias estudadas. O subcapítulo 3.3 apresenta a metodologia de gestão da qualidade dos pavimentos utilizada pelo município de Coimbra. O subcapítulo 3.4 apresenta-se a metodologia proposta para gerir a rede rodoviária de Coimbra. No subcapítulo 3.5 são apresentadas as considerações finais.

#### **3.1.1 Enquadramento do Distrito e Município de Coimbra**

Coimbra localiza-se na região central de Portugal continental, sendo limitada a sul pelo distrito de Leiria, a oeste pelo Oceano Atlântico, a norte pelo distrito de Aveiro e pelo distrito de Viseu, a leste pelos distritos da Guarda e de Castelo Branco. Este distrito divide-se em 17 municípios: Arganil; Cantanhede; Coimbra; Condeixa-a-Nova; Figueira da Foz; Góis, Lousã; Mira; Miranda do Corvo; Montemor-o-Velho; Oliveira do Hospital; Pampilhosa da Serra; Penacova; Penela; Soure; Tábua e Vila Nova de Poiares. O Conselho de Coimbra atualmente é constituído por 8 juntas de freguesia: Almalaguês; Brasfemes; Ceira; Cernache; Santo António dos Olivais; S. João do Campo; S Silvestre; Torres do Mondego, e por dez Uniões de freguesia: Antuzede e

Vil de Matos; Assafarge e Antanho; Eiras e S. Paulo de Frades; Coimbra; Lamarosa e S. Martinho de Arvore; Ribeira de Frades e S. Martinho do Bispo; Castelo de Veigas e Santa Clara; Botão e Souselas; Taveiro Ameal e Arzila; Trouxemil e Torre de Vilela (Figura 3.1).

Segundo dados relativos aos Censos de 2011, estima-se que a população residente no concelho de Coimbra é de 143.052 habitantes, tendo sofrido um decréscimo de 5.391 habitantes face aos valores dos Censos de 2001 em que tinha 148.443 habitantes. Coimbra é um concelho onde se tem assistido a um decréscimo de população devido à falta de condições de fixação dos jovens recém-licenciados na sua universidade, por falta de um tecido empresarial capaz de os absorver e devido à escassez de emprego.

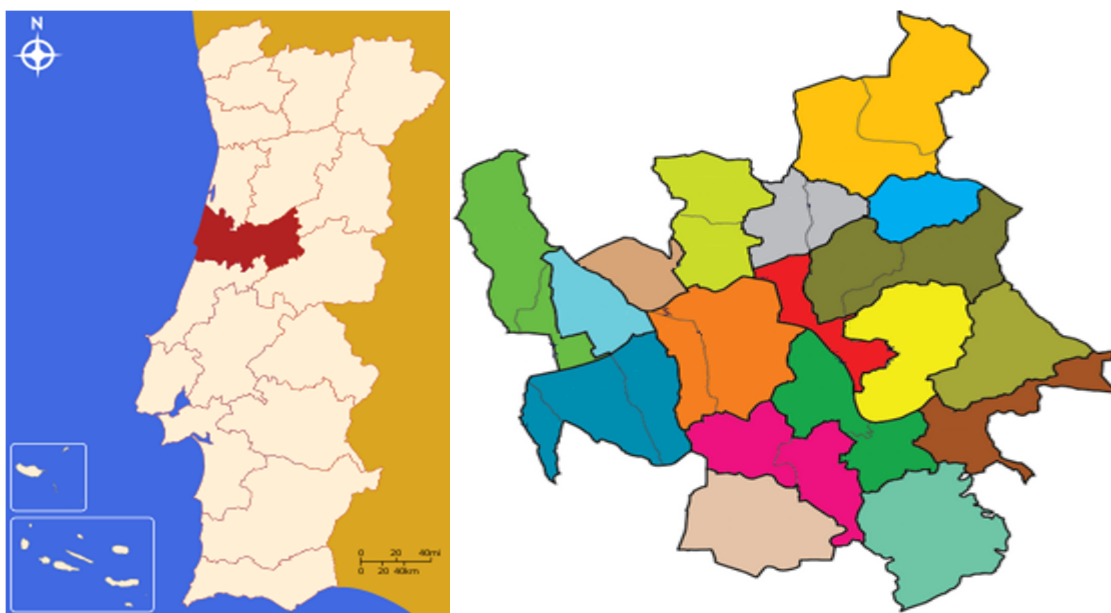


Figura 3.1 - Localização geográfica do Município de Coimbra e respetivas freguesias (COIMBRA@, 2014a)

### 3.1.2 Organização da Câmara Municipal de Coimbra

A Câmara Municipal de Coimbra é dirigida segundo uma estrutura orgânica que define e regula a organização, o funcionamento dos serviços de administração autárquica, bem como os níveis de direção e hierarquia que os articulam. No topo dessa hierarquia encontra-se o Presidente e os Vereadores, em seguida encontra-se a Direção Municipal e o Gabinete de Planeamento e Controlo. A Direção Municipal encontra-se dividida em seis departamentos sendo que o Departamento de Obras e Infraestruturas é o responsável pela manutenção da rede rodoviária de Coimbra. Para melhor compreensão da caracterização da organização da Câmara Municipal de Coimbra é apresentado na Figura 3.2 o seu organograma.

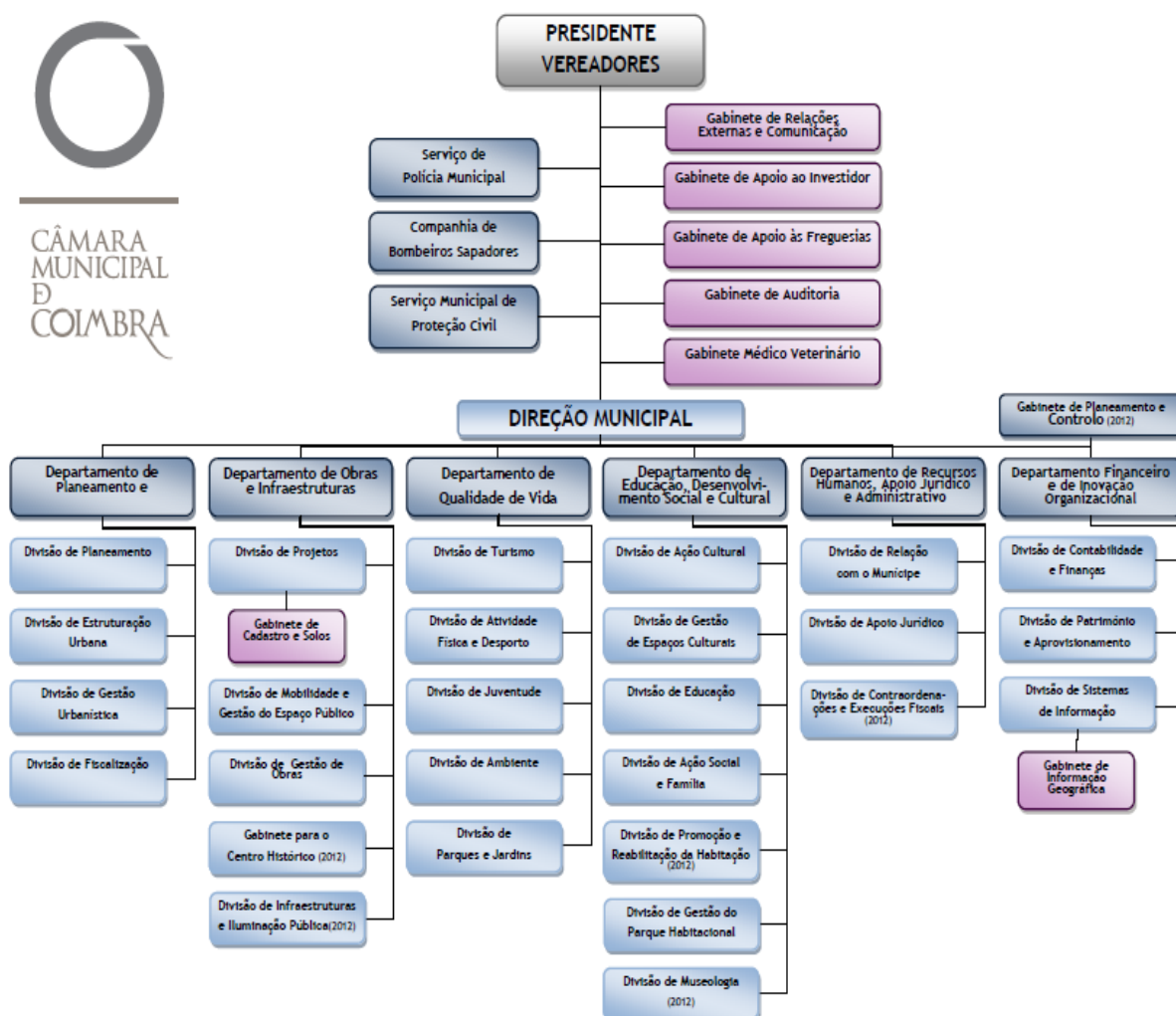


Figura 3.2 - Organograma funcional da Câmara Municipal de Coimbra (Coimbra@, 2014b)

### 3.2 Rede Rodoviária de Coimbra

Devido à localização geográfica e também pela sua dimensão histórica, Coimbra desempenha um papel de grande relevância na rede rodoviária de Portugal visto que se encontra entre os dois distritos com mais população no país, a cerca de 120 km da cidade do Porto e a 210 km da cidade de Lisboa. Atualmente a cidade de Coimbra é servida pela autoestrada A1 que liga Portugal de norte a sul, pela estrada A14 que liga Coimbra à cidade Figueira da Foz, pelo IP3 e pelo IC2 e IC3.

O estudo de caso correspondente à rede rodoviária de Coimbra centra-se no estudo de cerca de 40 km de pavimento flexível das vias rodoviárias de maior importância do Município (Figura 3.3), para servir de base para uma proposta de SGP para o Município de Coimbra.

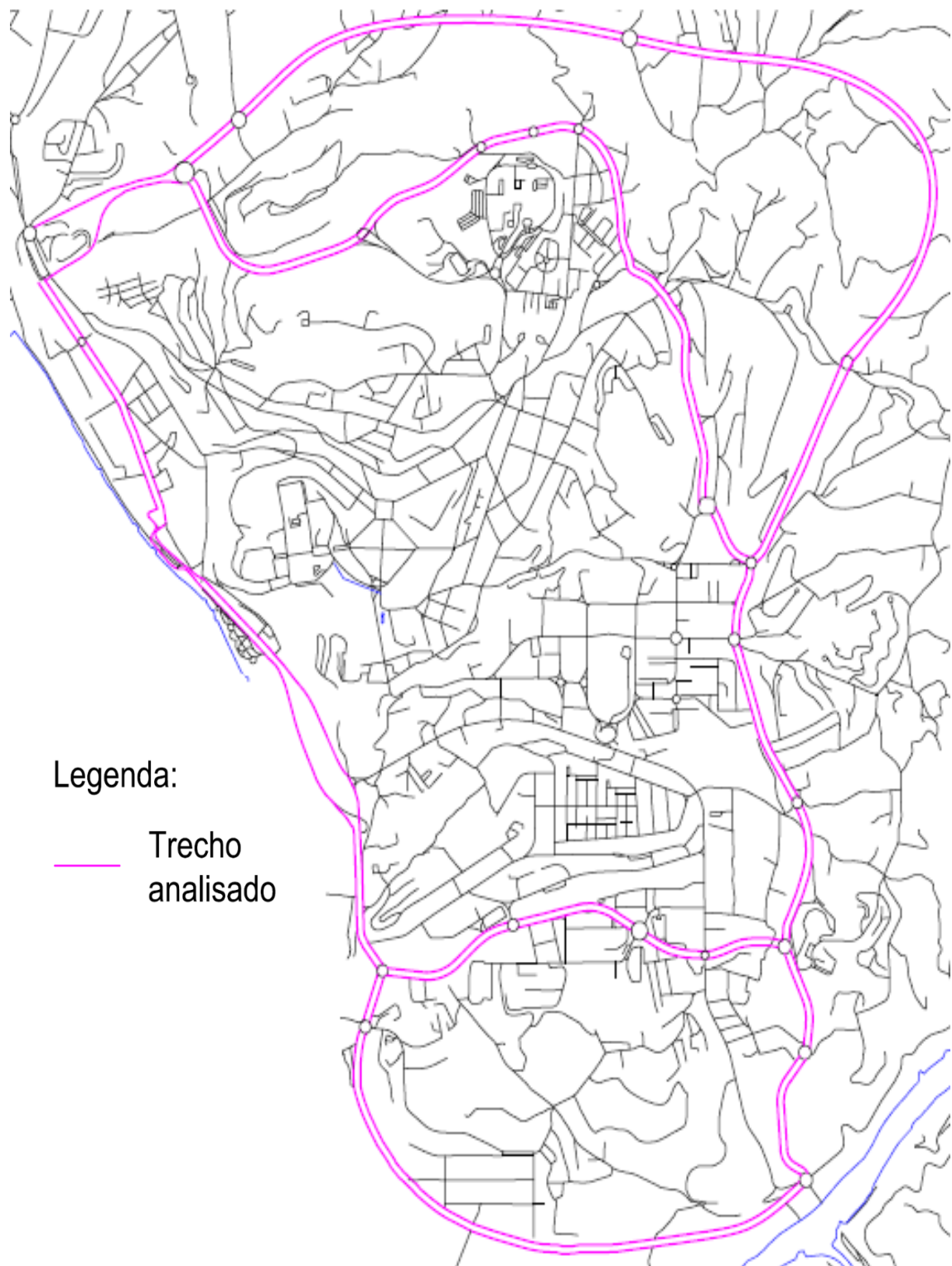


Figura 3.3 - Rede rodoviária de Coimbra



### 3.3 Metodologia de Gestão Utilizada pela Câmara Municipal de Coimbra

Atualmente a Câmara Municipal de Coimbra não possui nenhum Sistema de Gestão de Pavimentos em vigor, sendo que as intervenções nos trechos da rede ficam condicionadas aos recursos financeiros, às avaliações realizadas pelos técnicos e de quem tem o poder de decidir se intervém ou não com base no seu bom senso e na utilização de critérios subjetivos que definem a qualidade dos pavimentos.

### 3.4 Metodologia de Gestão Proposta

A metodologia de gestão proposta para o Sistema de Gestão de Pavimentos (SGP) do Município de Coimbra consiste numa estrutura dividida em três módulos estruturantes (Figura 3.4): uma Base de Dados Rodoviária (BRD); um Sistema de Avaliação da Qualidade (SAQ); e um Sistema de Apoio à Decisão (SAD).

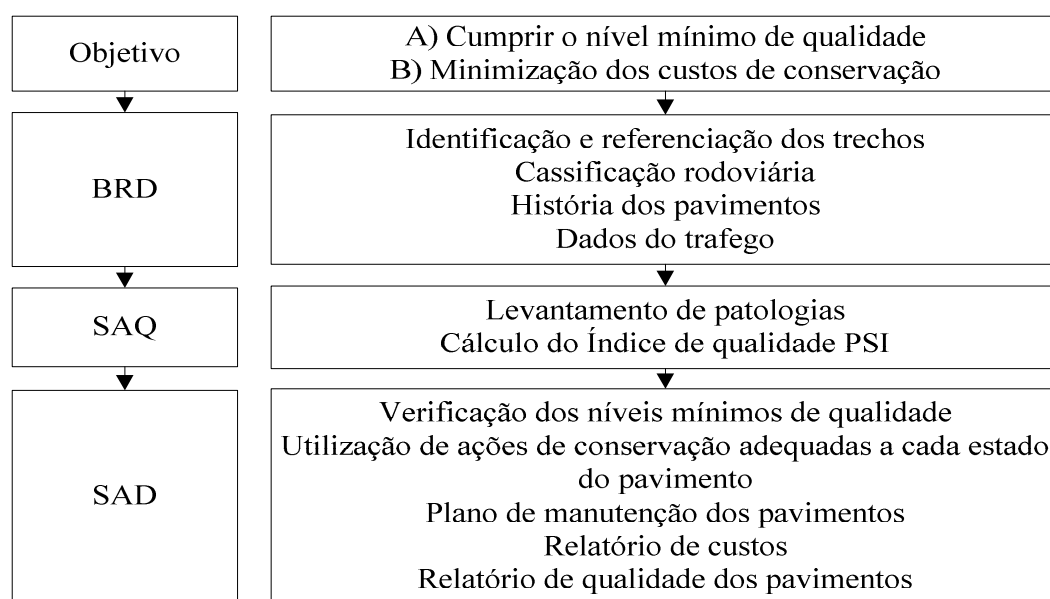


Figura 3.4 - Metodologia de gestão proposta

Para a definição de um SGP a propor à Câmara Municipal de Coimbra começou-se por seleccionar as vias rodoviárias com maior tráfego na cidade e realizou-se uma consulta pormenorizada dos respetivos projetos de modo a recolher toda a informação relevante das vias seleccionadas. A definição das intervenções de recuperação dos pavimentos tem em conta o estado do pavimento no ano do levantamento, os níveis mínimos de qualidade.

A avaliação do estado do pavimento de um trecho é realizada através de uma avaliação manual e uma avaliação automática, utilizando a aplicação iROAD onde são avaliadas as seguintes patologias: fendilhamento; pele de crocodilo; covas e peladas; reparações; rodeiras; e irregularidade longitudinal. Após essa avaliação é calculado o índice de qualidade do pavimento PSI (*Present Serviceability Index*).

Os níveis mínimos de qualidade dos pavimentos são estabelecidos para uma programação de conservação para o período de um ano de acordo com o tipo hierático de cada via (coletora, distribuidora local, ou de acesso local). A necessidade da utilização racional dos recursos financeiros implica a utilização de soluções de otimização capazes de identificar as estratégias de intervenção que maximizam a qualidade dos pavimentos e minimizam os custos numa malha rodoviária ou num trecho de pavimento.

### **3.4.1 Base de Dados Rodoviária do Município de Coimbra**

Uma das tarefas mais importantes e onerosas de um SGP é a definição e aquisição dos dados a serem armazenados na BDR, pois essa informação influencia todos os resultados. A BDR é composta pelos seguintes grupos de dados: classificação das vias; identificação e referenciação dos trechos rodoviários; tipo de pavimento; caracterização do tráfego; obras de construção e manutenção; avaliação da qualidade dos trechos; e os dados resultantes da aplicação do sistema.

#### ➤ Classificação rodoviária

As vias são classificadas de acordo com a função que elas desempenham: as vias coletoras são vias de circulação por excelência, onde a função de acesso é residual; as distribuidoras principais são vias que apresentam uma funcionalidade de circulação em convivência com uma função de acesso dando suporte à vivência urbana; as distribuidoras locais são vias com peso de acesso significativo, onde a função de circulação é comum; as vias de acesso local servem maioritariamente à função de acesso sendo que a circulação deve ser evitada; e por fim as vias dedicadas são, por exemplo, vias dedicadas aos transportes públicos e vias para ciclistas. A rede em estudo possui 16 trechos com aproximadamente 1,8 quilómetros de extensão classificados como via coletora e 50 trechos com aproximadamente 21,1 quilómetros de extensão classificados como distribuidora principal.

#### ➤ Identificação e referenciação dos trechos

A definição dos trechos é feita tendo em conta a formação de trechos homogéneos do ponto de vista do tráfego, da estrutura do pavimento e a limitação do comprimento dos trechos

compatível com a execução de trabalhos de conservação. Assim, foram definidos sessenta e seis segmentos, todos pertencentes à rede rodoviária da cidade de Coimbra. Identificando os trechos com um código de referência e considerando como exemplo o trecho 1a que tem como código 1 001a 01 17, o primeiro caractere corresponde à classificação rodoviária (trecho da Circular Externa), em que sendo uma via coletora terá o algarismo 1 (Quadro 3.1), os seguintes quatro caracteres representam o número do trecho (001a), os seguintes dois dígitos representam a designação da estrada (como as vias escolhidas pertencem à malha urbana da cidade, estas não apresentam uma designação numérica, contudo foi atribuída uma numeração às diversas vias da rede em estudo) e por fim (Quadro 3.2), os dois últimos dígitos representam o código da freguesia a que o trecho pertence (Quadro 3.3).

Quadro 3.1 - Classificação rodoviária

<b>Classe da Estrada Municipal</b>	<b>Identificação</b>
Via Coletora	1
Distribuidora Principal	2
Distribuidora Local	3
Acesso Local	4
Pedonal	5

Quadro 3.2 - Atribuição numérica dos trechos urbanos

<b>Avenidas</b>	<b>Identificação</b>
Circular Externa	01
Via de Augusto Vaz Seabra	02
IC3	03
Av. Elísio de Moura	04
Av. de Fernando Namora	05
Av. de António Ferrer Correia	06
Estrada das Beiras	07
Av. da Boavista	08
Av. de Urbano Duarte	09
Av. da Lousã	10
Av. de Emídio Navarro	11
Av. de Fernão de Magalhães	12
Circular Interna	13
Av. de Mendes Silva	14

Quadro 3.3 - Código de freguesias

Freguesias	Identificação
Almedina	02
Santa Cruz	17
Santo António dos Olivais	18
São Bartolomeu	19

➤ História dos pavimentos

A história dos pavimentos contém os dados relacionados com a seguinte informação: a idade; a caracterização da geometria do perfil transversal; e a caracterização da estrutura do pavimento; e a respetiva fundação.

A idade do pavimento é estabelecida através da consulta dos projetos das diferentes vias e aquando da sua inexistência, é fornecida pela Câmara Municipal de Coimbra, dando a data da última reabilitação ou a data de construção. As geometrias dos perfis transversais dos trechos foram também retiradas dos projetos e posteriormente verificados no local, como por exemplo, a largura das vias.

➤ Dados de tráfego

Para os dados de tráfego foi necessário efetuar contagens de tráfego nas horas de ponta. Esses dados foram recolhidos com a colaboração de uma equipa de investigação do DEC-UC visto que nem todos os projetos tinham esta informação ou então encontrava-se desatualizada. No Anexo A poderá ser consultada a informação recolhida.

### 3.4.2 Sistema de Avaliação da Qualidade dos Pavimentos

O Sistema de Avaliação da Qualidade dos pavimentos (SAQ) é uma ferramenta utilizada para analisar a informação reunida sobre a condição do pavimento de forma a caracterizar o estado do pavimento (Picado-Santos *et al.*, 2004). Para o estudo da rede foi efetuado um levantamento das patologias presentes nos trechos rodoviários através de um levantamento visual de forma automática com auxílio da aplicação iROAD, e de forma manual com o auxílio de uma roda de medição, um catálogo de patologias, uma ficha de observação Quadro 3.4 e uma máquina fotográfica digital.

Quadro 3.4 - Ficha de observação dos pavimentos

Nome do observador:		Trecho nº:		Data da observação: .../.../....							
Estrada:		Data de construção: .../.../....		Estrutura do pavimento:		Desgaste		Material		Esp. (m)	
Classe da estrada:		Data da última reabilitação: .../.../....				Regularização					
Classe de tráfego:	TMDA:	TMDAp:	Base								
Comprimento médio do trecho:						Sub-base					
Largura média do trecho:						Leito do pav.		CBR= %			

Distância (m)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Fendilhamento											
Pele de crocodilo											
Covas											
Peladas											
Rodeiras											
Reparações											
Irregularidade											

O SAQ adotado para o Município de Coimbra utiliza uma análise isolada das patologias superficiais dos pavimentos e o índice de qualidade PSI (*Present Serviceability Index*) calculado para cada trecho através da Equação (3.1) (Ferreira e Duarte 2007; Picado-Santos *et al.*, 2004) e com o auxílio da Quadro 3.5. Este índice global varia de 0 a 5, tendo como 0 pavimentos com muito má qualidade de circulação e 5 pavimentos com muito boa qualidade de circulação. Na prática este índice raramente excede o valor de 4,5 em pavimentos novos. Por outro lado, o valor 2 é geralmente definido como valor mínimo para redes municipais tendo em conta a segurança e o conforto dos utentes.

$$PSI_t = 5 - e^{-0,000065 \times IRI_t} - 0,0005348 \times R_t^2 - 0,21 \times (C_t + S_t + P_t)^{0,5} \quad (3.1)$$

Onde:

- $PSI_t$  = Índice de qualidade do pavimento no ano t;
- $IRI_t$  = Irregularidades longitudinais no ano t (mm/Km);
- $R_t$  = Profundidade média das rodeiras no ano t (mm);
- $C_t$  = Área com fendilhamento e pele de crocodilo no ano t (m<sup>2</sup>/100m<sup>2</sup>);
- $S_t$  = Área de covas e peladas no ano t (m<sup>2</sup>/100m<sup>2</sup>);
- $P_t$  = Área com reparações no ano t (m<sup>2</sup>/100m<sup>2</sup>), ( $C_t + S_t + P_t \leq 100\%$ ).

Quadro 3.5 - Área ou valor adotado em cada de gradação consoante o nível de gravidade (Picado-Santos *et al.*, 2004)

Degradação	Gravidade	Descrição	Área afetada/valor adotado
Fendilhamento	1	Fenda isolada	0,5m × comprimento afetado
	2	2mm < Abertura da fenda ramificada < 4mm	2,0m × comprimento afetado
	3	Fenda ramificada com abertura > 4mm	Largura da via × comprimento afetado
Pele de Crocodilo	1	Fendas com abertura < 2 mm e malha > 20 cm	Largura da via × comprimento afetado
	2	Fendas com abertura < 2mm e malha < 20 cm, ou fendas com 2mm < abertura < 4mm, ou fendas com abertura > 4mm e malha > 40cm	Largura da via × comprimento afetado
	3	Fendas com abertura > 4mm e malha < 40cm	Largura da via × comprimento afetado
Peladas	1	Peladas com largura < 50cm	0,5m × comprimento afetado
	2	50cm < Largura das peladas < 200cm	2,0m × comprimento afetado
	3	Peladas com largura > 200cm	Largura da via × comprimento afetado
Covas	1	Profundidade máxima da cavidade < 2cm	0,5m × comprimento afetado
	2	2cm < Profundidade máxima da cavidade < 4cm	2,0m × comprimento afetado
	3	Profundidade máxima da cavidade > 4cm	Largura da via × comprimento afetado
Reparações	1	Reparações bem executadas	1/4 × Largura da via × comprimento afetado
	2	Reparações com baixa qualidade de execução ou má elaboração das juntas	1/2 × Largura da via × comprimento afetado
	3	Reparações mal executadas	Largura da via × comprimento afetado
Rodeiras	1	Profundidade máxima da rodeira < 10mm	R <sub>t</sub> = 10mm
	2	20mm < Profundidade máxima da rodeira < 30mm	R <sub>t</sub> = 30mm
	3	Profundidade máxima da rodeira > 30mm	R <sub>t</sub> = 50mm
Irregularidade Longitudinal	1	Utilizador não sente vibrações quando se desloca num veículo ligeiro	IRI <sub>t</sub> = 2.000 mm/km
	2	Pequenas vibrações são sentidas ocasionalmente pelo utilizador quando se desloca num veículo ligeiro	IRI <sub>t</sub> = 3.500 mm/km
	3	Pequenas vibrações em quase toda a extensão e/ou grandes vibrações são sentidas ocasionalmente pelo utilizador	IRI <sub>t</sub> = 5.500 mm/km

No trecho 23b que se situa entre o Hospital Pediátrico e a Avenida Gouveia Monteiro com 598,7 m de comprimento e 6,5 m de largura perfazendo um total de 3891,55 m<sup>2</sup> de área, foram levantados respetivos comprimentos e níveis de gravidade de degradação de forma a calcular a área degradada (Quadro 3.6). No Quadro 3.7 apresenta-se a soma das referidas áreas.

Quadro 3.6 - Área degradada/valor adotado por nível de gravidade

Degradação	Nível Gravidade	Comprimento afetado (m)	Área degradada (m <sup>2</sup> )/valor adotado
Fendilhamento	1	87,6	$0,5 \times 115,6 = 57,8$
	2	151,4	$2 \times 154,9 = 309,8$
	3	68,5	$6,5 \times 34,7 = 225,9$
Pele de Crocodilo	1	0	0
	2	0	0
	3	0	0
Covas	1	2	$0,5 \times 2 = 1$
	2	0	0
	3	0	0
Peladas	1	3,2	$0,5 \times 3,2 = 1,6$
	2	2,2	$2 \times 2,2 = 4,4$
	3	0	0
Reparações	1	0,7	$0,25 \times 6,5 \times 0,7 = 1,1$
	2	0	0
	3	4,6	$6,5 \times 4,6 = 29,9$
Rodeiras	1	398,3	$398,3 \times 10 = 3983$
	2	42,6	$42,6 \times 30 = 1278$
	3	140,4	$140,4 \times 50 = 7020$
Irregularidades Longitudinais	1	245,7	$2000 \times 245,7 = 491400$
	2	353	$3500 \times 353 = 1235500$
	3	0	0

Quadro 3.7 - Cálculo da área de fendilhamento, pele de crocodilo, covas e peladas, reparações, rodeiras e IRI

Degradações	Área total degradada (m <sup>2</sup> )	Área total degradada (m <sup>2</sup> /100m <sup>2</sup> )
Fendilhamento e pele de crocodilo (Co)	$(57,8+309,8+225,9) \times 100 / 3891,55 = 15,25$	
Covas e peladas (So)	$(1+1,6+4,4) \times 100 / 3891,55 = 0,18$	
Reparações (Po)	$(1,1+29,9) \times 100 / 3891,55 = 0,8$	
Co+So+Po	$15,25+0,18+0,8 = 16,23$	
Rodeiras	$(3983+1278+7020) / (598,7 \times 2) = 10,26$	
IRI	$(491400+1235500) / 598,7 = 2884,42$	

Substituindo os valores obtidos no Quadro 3.7 na Equação (3.1) obtêm-se os valores necessários para o cálculo do PSI do trecho 23b.

$$PSI = 5 \times e^{-0,000065 \times 2884,42} - 0,0005348 \times 10,26^2 - 0,21 \times 16,23^{0,5} = 3,24$$

Da mesma forma foram levantados os comprimentos de degradação dos restantes trechos da rede rodoviária de Coimbra e calculadas as áreas de degradação para cada patologia, a profundidade média das rodeiras e o IRI de forma a calcular os valores do índice de qualidade PSI para cada trecho da rede (Anexo B).

A rede rodoviária em estudo é apresentada na Figura 3.5 onde as diferentes cores dos trechos apresentam os diferentes valores do PSI que cada trecho possuía à data dos levantamentos das degradações, ou seja no ano 2014. Através da análise desta figura é possível ter uma noção geral do estado dos pavimentos da rede rodoviária de Coimbra. Verifica-se também que grande parte da rede se encontra em boa ou muito boa qualidade de conservação no que respeita ao índice de qualidade PSI. É de referir que em nenhum dos trechos o valor deste índice é inferior a dois, ou seja, não existe nenhum trecho da rede em que o pavimento se encontre abaixo do valor mínimo de qualidade geralmente definido pela bibliografia para redes municipais.

No ano 2014 existiu uma variação dos parâmetros de avaliação da qualidade dos pavimentos face ao ano de 2013, tendo existido um aumento dos valores de área degradada do fendilhamento e da profundidade média das rodeiras de 14% e 270% respetivamente, sendo que os restantes parâmetros apresentaram valores inferiores em termos de área degradada. Assim sendo, o índice de qualidade dos pavimentos PSI apresentou uma melhoria de 1,08 face à média do ano anterior. Esta informação indica que a rede sofreu operações de conservação ou reabilitação dos pavimentos.



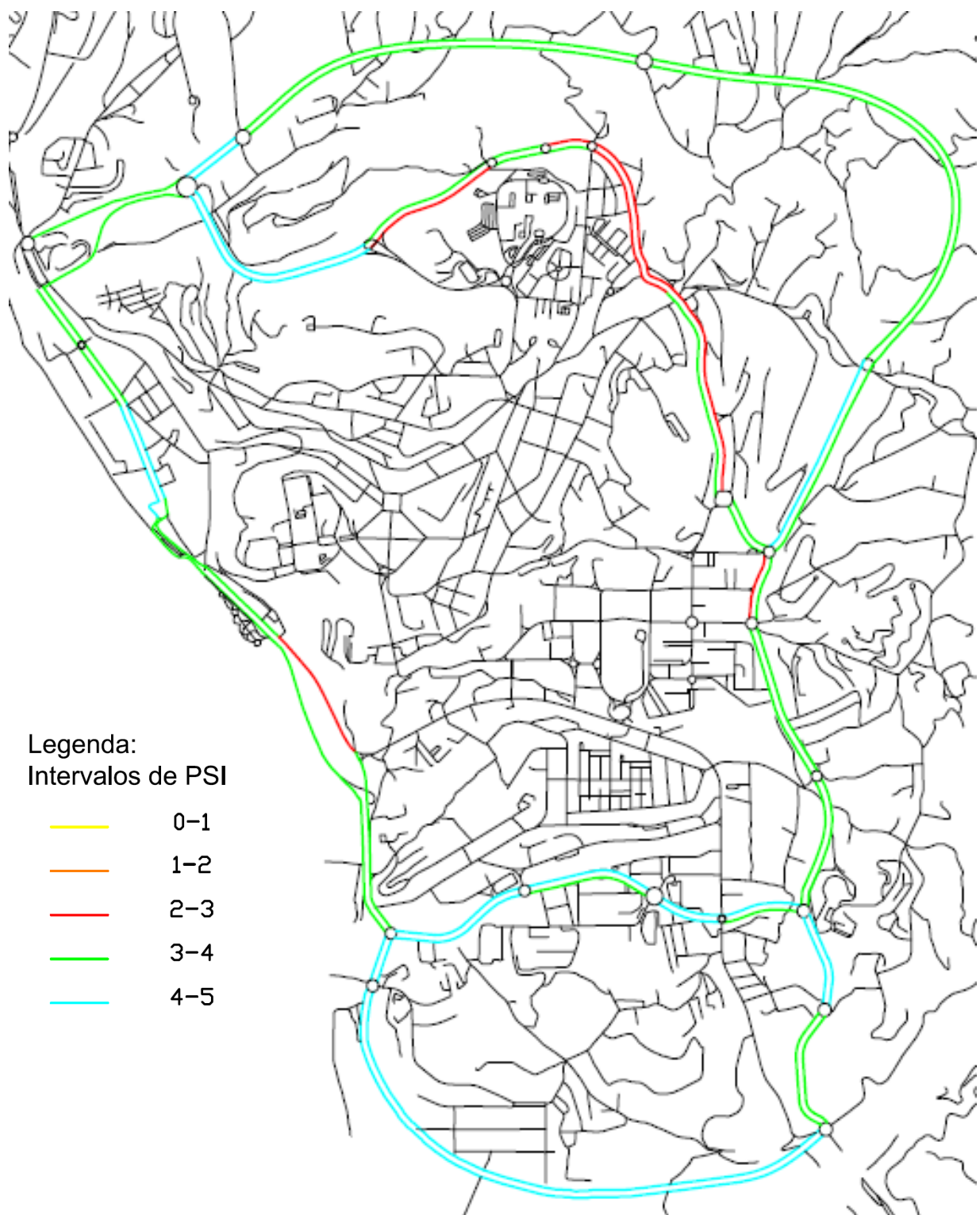


Figura 3.5 - Avaliação do estado superficial dos pavimentos betuminosos no ano 2014

### 3.4.3 Sistema de Apoio à Decisão

Os SGP destinam-se fundamentalmente a ajudar os decisores no planeamento das estratégias de conservação e reabilitação dos pavimentos. Para alcançar o sucesso no planeamento, o decisor deverá ter em atenção o tempo de planeamento de curto prazo (1 a anos), médio prazo (5 a 10 anos), e longo prazo (mais de 10 anos). Estratégias a curto prazo são as mais importantes a nível municipal. As estratégias de médio e longo prazo são menos importantes numa abordagem flexível, pois estas podem ser alteradas se necessário, em resposta à informação que é atualizada sobre a evolução do sistema em análise (Ferreira *et al.*, 2002).

Atualmente as instituições camarárias utilizam soluções de reparação das patologias dos pavimentos considerando um período de planeamento de curto prazo, quer seja por motivos financeiros, quer seja por motivos de ordem política. Deste modo, a metodologia a propor à Câmara Municipal de Coimbra considera cada parâmetro de qualidade dos pavimentos em separado (fendilhamento, pele de crocodilo, covas, peladas, rodeiras, IRI, reparações) e o índice de qualidade e PSI. Para um determinado trecho da rede rodoviária, quando o valor resultante da auscultação for inferior ao nível mínimo de qualidade é ativada a correspondente intervenção que permite corrigir a patologia do pavimento.

Na Figura 3.6 são apresentados os valores máximos que permitem definir as intervenções de conservação a curto prazo para cada parâmetro de estado dos pavimentos tendo em conta a classificação das vias. No caso do índice de qualidade PSI, é um valor mínimo. É de salientar que os valores máximos de área degradada, irregularidade longitudinal dos pavimentos e profundidade média das rodeiras assumem valores menores nos pavimentos de maior importância em termos de tráfego.

Nas Vias Pedonais e Vias Clicáveis o valor máximo de área degradada das covas e peladas é zero pois a existência destas patologias nos trechos coloca em perigo os utilizadores deste tipo de via. Já o índice de qualidade dos pavimentos PSI assume valores mínimos superiores no caso das vias com maior tráfego automóvel tendo um valor mínimo 2,0 no caso das vias coletoras e decresce de acordo com a classificação rodoviária para o valor de 1,8 nas distribuidoras principais e locais e para 1,5 nos acessos locais, no entanto também considerado um valor de PSI mínimo de 2,0 no caso das vias pedonais e clicáveis.

REDE QUALIDADE **DECISAO** RELATORIOS INTEGRAR

DECISÃO

	Coletora	Distribuidora Principal	Distribuidora Local	Acesso Local	Via Pedonal	Via Ciclável
Fendilhamento	10	12	12	14	10	10
Pele de Crocodilo	10	12	12	14	5	5
Covas	5	6	6	7	0	0
Peladas	5	6	6	7	0	0
Rodeiras	10	12	12	14	5	5
IRI	3500	3500	3500	3500	3500	3500
Reparações	50	60	60	70	10	10
PSI	2,00	1,80	1,80	1,50	2,00	2,00

Figura 3.6 - Sistema de apoio à decisão do programa SIGPAV (Ferreira *et al.*, 2014b)

No estudo da rede constatou-se que 13 trechos da rede possuem percentagens de área degradada superiores ao estipulado e 7 trechos possuem irregularidade longitudinal superior ao estipulado. Note-se que em 4 trechos existe mais do que uma patologia que excede o valor máximo preestabelecido. Assim sendo, apenas 18 dos 66 trechos em estudo precisam de intervenção de reparação, e todos os trechos se localizam nas vias classificadas como distribuidoras principais.

O fendilhamento é a degradação que em mais casos supera os valores máximos estabelecidos perfazendo um total de 12 trechos, seguido do IRI com 7 trechos, as rodeiras com 2 trechos e por fim a pele de crocodilo que apenas excede os valores máximos em 1 dos trechos. Tal acontece devido ao processo de evolução das degradações que se apoia no princípio da interação das degradações (Figura 3.7), segundo o qual uma degradação não evolui isoladamente com o tempo, antes dá origem a novos tipos de degradações, as quais interagem com as características das primeiras (Branco *et al.*, 2006).

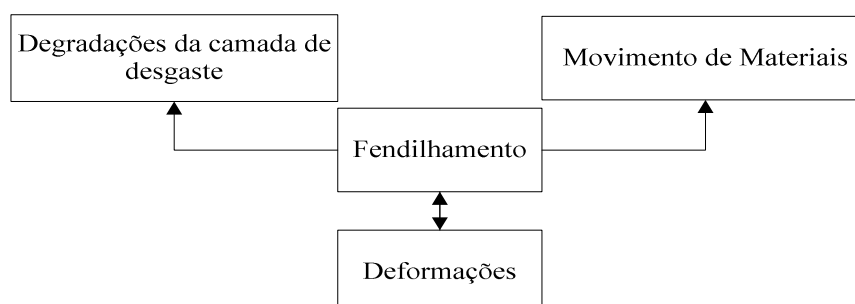


Figura 3.7 - Sequência e interação das degradações (Branco *et al.*, 2006)

O índice de qualidade PSI não apresenta valores inferiores a 2,0 em nenhum dos trechos estudados. Desta forma podemos concluir que nos pavimentos em estudo existe uma compensação entre os parâmetros de estado. Os restantes trechos cumprem os valores de área de degradação máxima estipulados tal como se pode observar no Quadro 3.8.

Quadro 3.8 - Número de trechos que apresentam valores de área de degradação superiores ao estipulado

	Fendilha- mento	Pele de Crocodilo	Covas	Peladas	Reparações	Rodeiras	IRI	PSI
Via Coletora	0	0	0	0	0	0	0	0
Distribuidora Principal	12	1	0	0	0	2	7	0

O Quadro 3.9 apresenta as oito diferentes soluções de recuperação dos pavimentos que compõem o sistema de apoio à decisão a propor à Câmara Municipal de Coimbra, bem como o custo unitário associado a cada uma das soluções. Os custos unitários correspondem ao percentil 85 dos custos para este tipo de intervenções feitas nos últimos 10 anos.

Quadro 3.9 - Soluções de intervenção e respetivos custos

Número	Designação	Custo
1	Não fazer Nada	0,00 €/m <sup>2</sup>
2	Recuperação funcional da área fendilhada	1,50 €/m <sup>2</sup>
3	Preenchimento de covas e peladas	91,78 €/m <sup>2</sup>
4	Preenchimento de rodeiras	91,78 €/m <sup>2</sup>
5	Reperfilamento	91,78 €/m <sup>2</sup>
6	Colocação de membrana anti propagação de fendas	2,50 €/m <sup>2</sup>
7	Aplicação de microbetão betuminoso (2 cm)	2,40 €/m <sup>2</sup>
8	Aplicação de betão betuminoso (5 cm)	5,94 €/m <sup>2</sup>

A definição da intervenção de recuperação do pavimento a adotar e feita através de uma *Árvore de Decisão* tendo em conta os limites máximos de área de degradação pré-estabelecidos para a rede rodoviária e as soluções tecnicamente viáveis e otimizadas para a resolução de cada tipo de degradação (Figura 3.8).

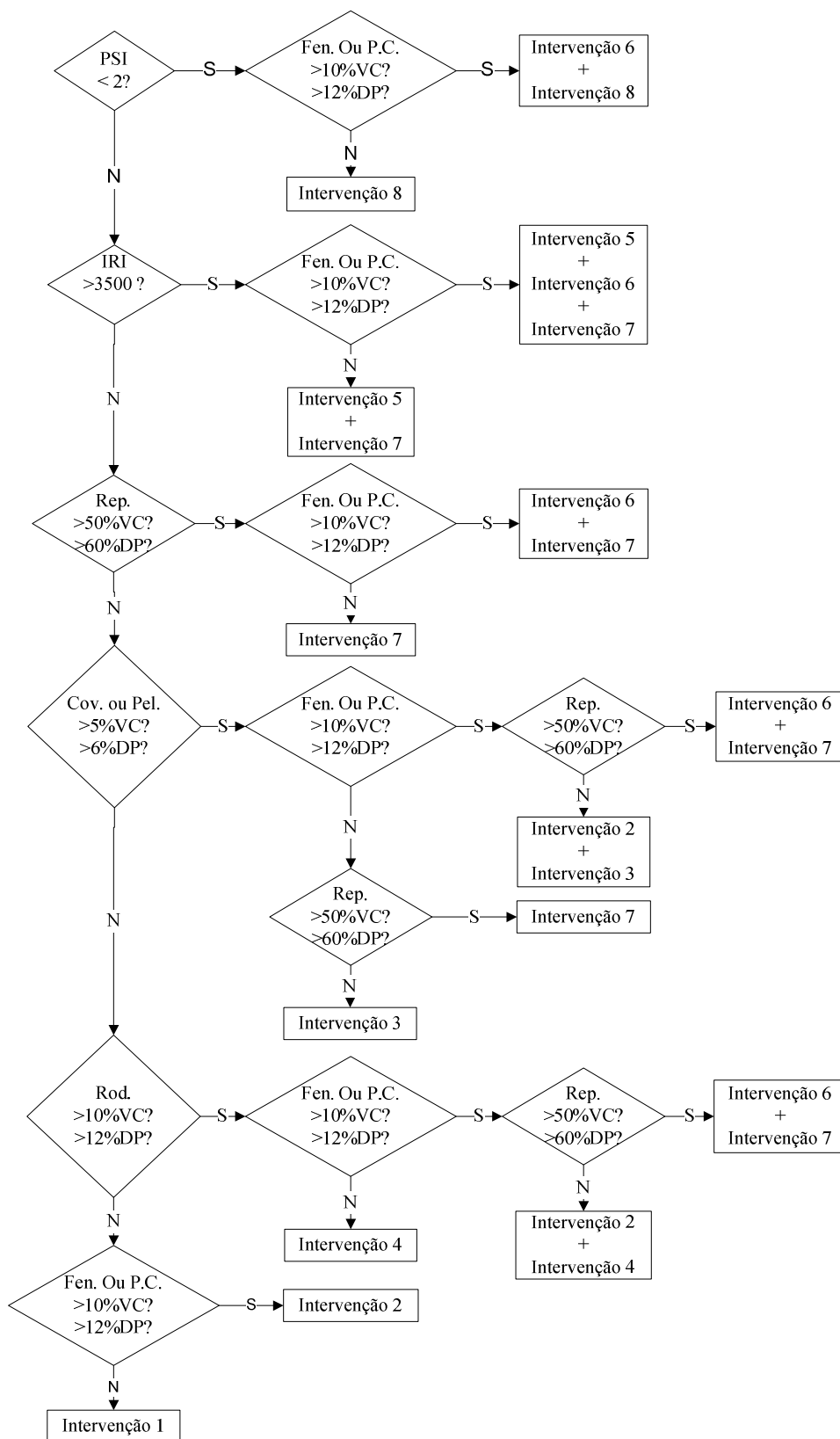


Figura 3.8 - Árvore de Decisão das intervenções a aplicar aos pavimentos

Onde:

<i>PSI</i>	=	Índice de qualidade do pavimento;
<i>IRI</i>	=	Irregularidade longitudinal;
<i>Rep.</i>	=	Reparações;
<i>Cov.</i>	=	Covas;
<i>Pel.</i>	=	Peladas;
<i>Rod.</i>	=	Rodeiras;
<i>Fend.</i>	=	Fendilhamento;
<i>P.C.</i>	=	Pele de crocodilo;
<i>VC</i>	=	Via coletora;
<i>DP</i>	=	Distribuidora principal.

De forma a exemplificar o tipo de combinações de intervenção adotadas observe-se o Quadro 3.10 onde são expostos os valores das áreas que deverão sofrer intervenção bem como o volume de betão betuminoso necessário para reparar as patologias e o custo associado à reparação do trecho.

Quadro 3.10 - Plano de Manutenção dos Pavimentos

Trecho	Fendilhamento (m <sup>2</sup> /100m <sup>2</sup> )	Pele de crocodilo (m <sup>2</sup> /100m <sup>2</sup> )	Rodeiras (mm)	IRI (mm/km)	Área de reparação (m <sup>2</sup> )	Volume de reparação (m <sup>3</sup> )	Total (€)
6a	38,05	0,00	4,13	2844,91	658,60	0,00	987,90
6b	16,92	0,00	1,30	3379,25	297,90	0,00	446,85
14a	32,02	0,00	2,29	2609,70	1732,45	0,00	2598,68
14b	33,52	1,33	7,31	2183,42	1228,25	0,00	1842,38
15a	33,53	0,55	2,79	3058,68	1244,60	0,00	1866,90
16a	4,46	0,63	5,69	4847,95	0,00	15,90	9331,99
16b	1,31	0,00	1,08	3500,00	0,00	11,32	8800,46
18a	10,05	1,74	3,02	3500,00	0,00	3,09	2403,93
23a	23,90	14,09	7,68	2831,24	1572,98	0,00	2359,46
23b	15,25	0,00	10,26	2884,42	593,48	0,00	890,21
25a	37,00	0,00	5,00	2000,00	336,25	0,00	504,38
25b	44,17	6,78	5,00	2000,00	426,60	0,00	639,90
26a	19,66	5,29	6,87	5500,00	856,35	24,71	15193,26
26b	29,26	1,29	8,73	5500,00	1303,30	25,32	16631,32
27a	4,56	1,80	8,31	3500,00	0,00	19,62	15257,94
27b	20,56	1,76	8,85	3500,00	1120,35	19,37	17864,52
29b	5,02	0,00	12,29	2000,00	0,00	3,16	289,98
31b	3,51	0,00	12,05	2121,72	0,00	4,89	448,64

O trecho 23a excede a proporção máxima de área degradada nas patologias fendilhamento e pele de crocodilo. A área a reparar é composta pela soma das respectivas áreas de degradação e o custo total da reparação calculado de acordo com uma intervenção de tipo 2, recuperação funcional de área fendilhada com custo unitário de 1,50€/m<sup>2</sup>.

No trecho 16a o valor máximo da irregularidade longitudinal é ultrapassado e o fendilhamento apresenta percentagem de área inferior ao estipulado para este caso é acionado uma intervenção do tipo 5 e uma intervenção de tipo 7.

O trecho 26b apresenta uma irregularidade longitudinal do pavimento superior a 3500 mm/km sendo que para o cálculo do volume de betão betuminoso utilizado na reparação é somado o volume de betão necessário de forma nivelar a superfície do pavimento. Em seguida é colocada uma malha anti propagação de fendas sobre a área fendilhada, adicionando por fim uma camada de dois centímetros de betão betuminoso em toda a largura e extensão do pavimento de forma que as cotas de projeto sejam cumpridas, ou seja é aplicado uma intervenção de tipo 5, uma intervenção de tipo 6 e uma intervenção de tipo 7.

No trecho 29b o valor máximo da profundidade média das rodeiras é excedido, sendo que para o cálculo dos custos de reparação é considerado o volume necessário ao preenchimento das rodeiras utilizando uma intervenção do tipo 4.

Os restantes trechos apresentam combinações de intervenções iguais aos exemplos anteriormente descritos.

Para a recuperação de toda a área degradada da rede rodoviária estudada prevê-se um custo de 98.359€, tendo como principal custo a regularização do pavimento devido à irregularidade longitudinal (85.433€), ou seja, 87% dos custos de reparação da rede (Figura 3.9), em que cerca de 60% desse custo deve-se à necessidade de utilizar uma camada de betão betuminoso em toda a largura e extensão do trecho. Já o fendilhamento é a patologia que atinge valores máximos de percentagem num maior número de trechos e no entanto os custos de reparação representam um custo de cerca 11.262€, ou seja, apenas 11% do valor total dos custos de reparação. Isto acontece devido ao baixo custo associado à reparação desta patologia. O custo de reparação da pele de crocodilo e das rodeiras representa cerca de 2% dos custos de reparação devido ao baixo número de vezes em que a percentagem máxima de área de degradação é ultrapassada e também pelo fato destas patologias poderem ser solucionadas através de intervenções que não impliquem a recuperação de toda a área do trecho.

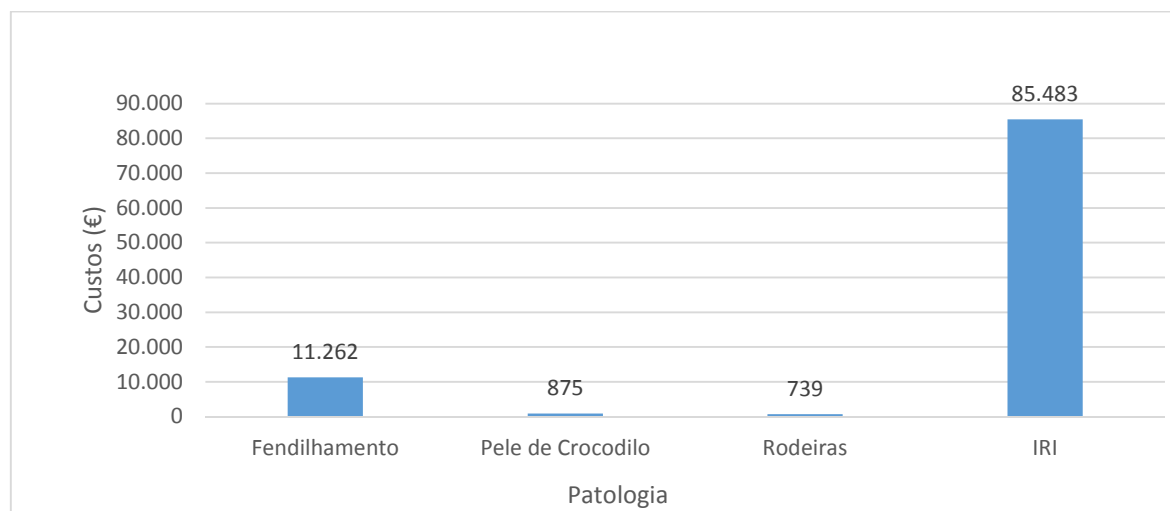


Figura 3.9 – Relatório de custos

Os custos para os utentes foram calculados em cada trecho considerando os custos de operação de veículos utilizando a Equação (3.2). Esta equação é utilizada no sistema de gestão de pavimentos da cidade de Lisboa (Picato-Santos *et al.*, 2004) e apresenta os custos de operação dos veículos em função do índice de qualidade PSI.

$$COV_t = 0,9752 - 0,03414 \times PSI_t + 0,0364 \times PSI_t^2 \quad (3.2)$$

Onde:

$COV_t$  = Custos de operação de veículos (€/km/ano) no ano t;

$PSI_t$  = Índice de qualidade do pavimento no ano t.

Estima-se que os custos de operação dos veículos sejam de 68.092€ anuais após recuperação dos pavimentos, o que representa uma poupança em cerca de 6.165€ face aos 74.256€ que os utentes gastam anualmente ao circularem nas vias estudadas.

A implementação das soluções de recuperação dos pavimentos apresentadas neste documento resultam numa melhoria na qualidade dos pavimentos visto que a atualização das áreas degradadas sofrem uma redução significativa face ao ano do último levantamento (Figura 3.10).

Tal redução das áreas degradadas implica um acréscimo de cerca de 8% no índice de qualidade PSI e prevê-se que nenhum dos trechos da rede apresentará valores de PSI inferiores a 3,0 após reparação (Figura 3.11). No Anexo C poderão ser consultadas os valores de cada parâmetro de estado e o valor do PSI de cada trecho.



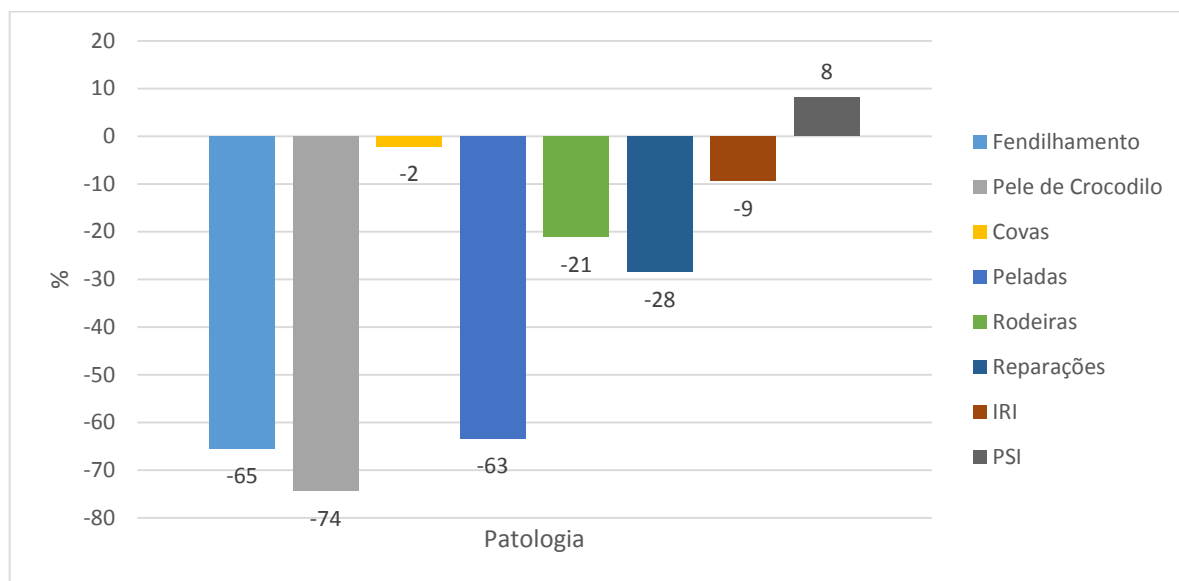


Figura 3.10 - Comparação do estado dos pavimentos entre o ano 2014 e após reparação dos trechos

A priorização dos trechos a recuperar é efetuada através da utilização do método de análise multicritério TOPSIS (*Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*), onde a escolha da alternativa é feita pela distância mínima à solução ideal (composta pelos melhores valores possíveis para os critérios) e a distância máxima à solução anti-ideal (composta pelos piores valores entre os possíveis para os critérios). Este tipo de procedimento é utilizado para definir as estratégias de manutenção executadas pelo Departamento de Transportes do Reino Unido por permitir a resolução de problemas onde existem conflitos de interesse (Rodrigues, 2002).

Os critérios de decisão foram escolhidos tendo em conta as cinco diferentes categorias seguintes: Técnica; Socioeconómica; Tráfego; Estratégico; e Financeira (Quadro 3.11).

Quadro 3.11 Descrição dos critérios utilizados na análise multicritério

Categoria	Critério	Descrição
Técnica	X1	Priorizar os trechos com menor PSI no ano de levantamento
Financeira	X2	Priorizar os trechos com menor custo benefício (Equação 3.3)
Tráfego	X3	Priorizar os trechos com maior TMDA
Estratégica	X4	Priorizar os trechos em que circulam maior número de autocarros
Socioeconómica	X5	Priorizar os trechos que possuam maiores custos para o utilizador

$$\frac{Custo}{Benefício} = \frac{CR}{(PSI_r - PSI_{2014})} \quad (3.3)$$

Onde:

- $CR$  = Custos de reparação do trecho (€);  
 $PSI_r$  = Índice de qualidade do pavimento após reparação do trecho;  
 $PSI_{2014}$  = Índice de qualidade do pavimento no ano de 2014.

A avaliação dos critérios é efetuada estabelecendo um grau de importância através da atribuição de pesos a cada critério (Quadro 3.12) mediante o objetivo proposto, utilizando o *Método da Comparação de Pares*.

Quadro 3.12 - Definição dos pesos associados a cada critério

Peso	Critério				
	X1	X2	X3	X4	X5
	17%	17%	33%	8%	25%

Os resultados da análise multicritério são apresentados no Quadro 2.1 numa sequência de prioridades, começando pelos trechos com maior prioridade de reparação.

Quadro 3.13 – Ordenação dos trechos e respetivos critérios

Trecho	X1	X2	X3	X4	X5
15a	2,84	1866,90	11560	29	2138,27
31b	3,88	448,64	12810	16	1337,37
6a	2,84	987,90	15370	1	1224,08
16b	3,60	8800,46	13430	32	1350,21
16a	3,13	9331,99	11560	29	1427,72
27a	3,40	15257,94	10750	6	2363,52
6b	3,14	446,85	12550	9	889,12
14b	3,07	1842,38	8990	19	1271,68
14a	3,01	2598,68	6470	15	1384,62
18a	3,11	2403,93	8240	41	276,42
29b	3,84	289,98	6550	9	425,21
23b	3,24	890,21	4680	4	702,38
23a	2,82	2359,46	4260	5	819,82
25b	2,97	639,90	4680	4	196,18
25a	3,10	504,38	4260	5	158,80
26a	2,36	24285,88	5350	8	1489,38
27b	2,93	28902,64	5550	4	1469,38
26b	2,18	24882,57	4080	11	1266,26

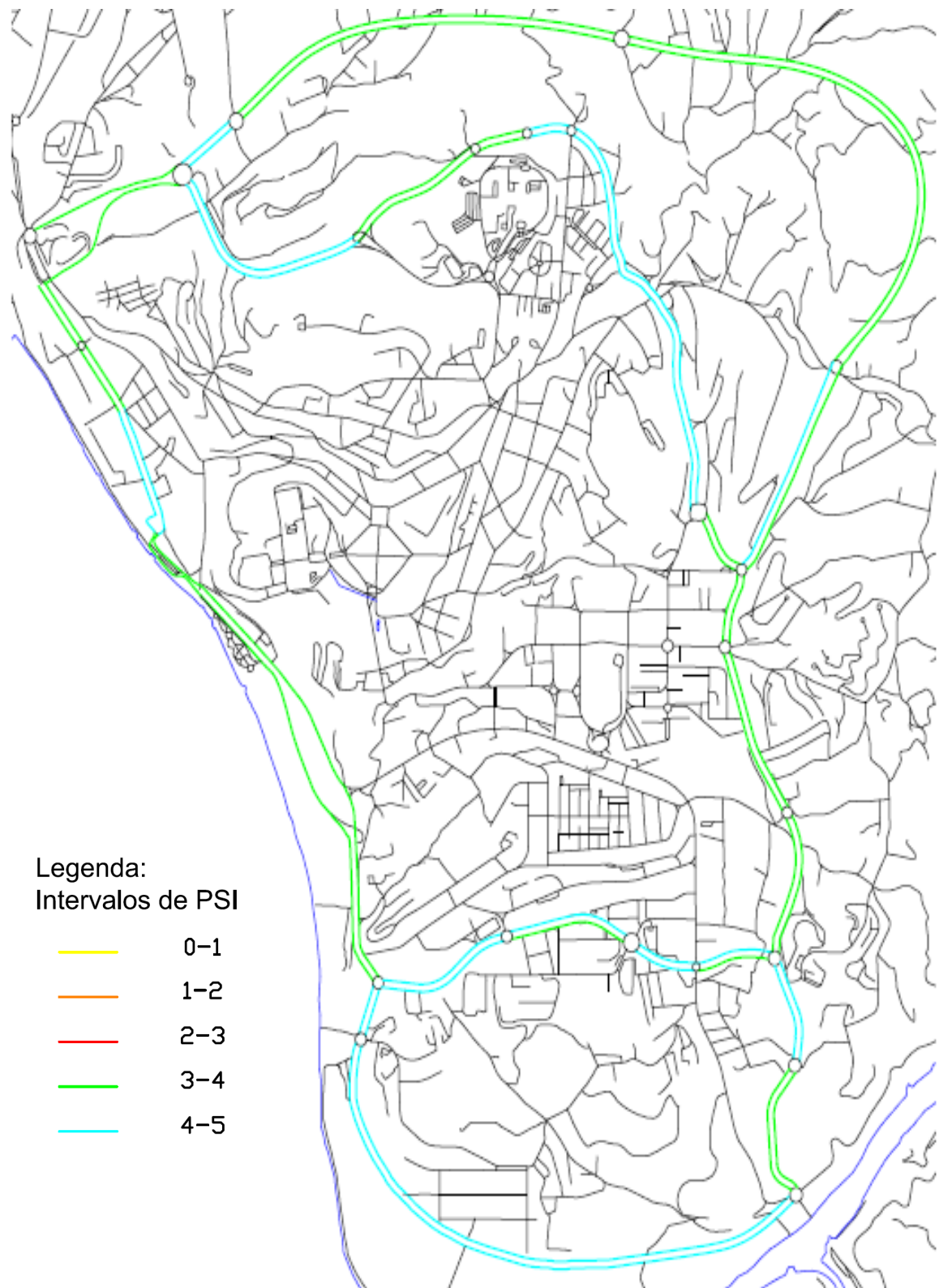


Figura 3.11 - Relatório de Qualidade dos Pavimentos após reparação

### 3.5 Considerações Finais

O Sistema de Gestão de Pavimentos proposto para a rede rodoviária do município de Coimbra utiliza uma análise mista na ferramenta de avaliação da qualidade dos pavimentos considerando cada parâmetro de estado e o modelo baseado no índice de qualidade PSI da AASTHO. Este índice foi utilizado por ser o que melhor se adaptou às características da rede e por ser de fácil aplicação.

A aplicação de um Sistema de Apoio à Decisão adaptado às características económicas e políticas da administração rodoviária apresenta a vantagem de produzir estratégias e intervenções de conservação correspondentes à realidade e a utilização de uma estratégia baseada nos mínimos de qualidade dos parâmetros de estado dos pavimentos impedem a compensação entre os parâmetros no cálculo do índice de qualidade PSI. O SAD proposto para o Município de Coimbra é também capaz de identificar quais as degradações que mais rapidamente atingem os valores máximos definidos para a rede, possibilitando a identificação das causas de degradação e o custo de reparação das mesmas.

Considerando uma estratégia de conservação baseada em níveis mínimos de qualidade dos parâmetros de estado possibilita a utilização de ações de conservação que não implicam a recuperação estrutural do pavimento, originando assim uma redução dos custos de conservação.

A utilização de um método de análise multicritério na priorização dos trechos considerando critérios técnicos, financeiros, estratégicos, socioeconómicos, etc., permite uma maior equidade e uma redução da subjetividade na priorização dos trechos a recuperar. Esta técnica poderá também ser utilizada na seleção de trechos a intervir quando existem restrições orçamentais impostas ao SAD.

O orçamento estimado para a reparação da rede rodoviária estudada é de cerca de 98.359,00€. Este é um valor considerado baixo pois representa 4,76% do orçamento da Câmara Municipal de Coimbra para conservação e manutenção de vias.

## 4 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

### 4.1 Conclusões

Podemos afirmar que esta dissertação apresenta a estruturação de um SGP capaz de definir uma política de conservação ao nível de rede e ao nível de projeto, apresentando vantagens relativamente aos métodos atuais de decisão e aplicação das intervenções de recuperação dos pavimentos, bem com na definição dos trechos a intervir utilizados pela Câmara Municipal de Coimbra através da produção dos seguintes documentos: Plano de Manutenção dos Pavimentos; Relatório de Custos e Relatório de Qualidade dos Pavimentos.

A utilização de modelos de comportamento de pavimentos baseados na evolução das degradações superficiais deve ser feita com precaução pois estes modelos não se encontram calibrados de acordo com as características da rede rodoviária municipal de Coimbra.

Segundo Picado-Santos *et al.* (2004), para uma rede rodoviária com 2500 km os custos de desenvolvimento e implementação de um SGP, incluindo o *software* necessário, custa menos de 0,01€/m<sup>2</sup> de pavimento. Os custos anuais relacionados com a contratação de quatro operadores responsáveis pelo fornecimento de dados ao sistema rondam também os 0,01€/m<sup>2</sup> de pavimento. No entanto esse custo pode ser reduzido através da utilização de equipamentos de recolha e tratamento de informação mais eficientes. Estes custos representam menos de 1,5% dos custos da intervenção de recuperação de pavimentos mais simples.

### 4.2 Trabalhos futuros

Deverá ser criada uma Base de Dados Rodoviária com a informação proveniente de vários levantamentos de degradações superficiais dos pavimentos ao longo dos anos de forma que os problemas relacionados com a calibração destes modelos possam ser solucionados. O SGP proposto deverá ser aplicado em toda a rede municipal.

O desenvolvimento de novos sistemas de aquisição de dados têm-se mostrado como uma mais-valia em termos de eficiência para os SGP. No entanto deverão ser introduzidas melhorias nos sistemas de aquisição de coordenadas. O uso de um GPS externo com maior precisão é um fator a ser tomado em conta de forma a melhorar os resultados obtidos e tornar mais fiável este tipo de sistemas.

## 5 REFERÊNCIAS

- Albuquerque, F. (2007). “Sistema de Gerência de Pavimento para Departamentos de Estradas do Nordeste Brasileiro”. Tese de Doutorado, Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1vol.
- Branco, F., Ferreira, P., e Picado-Santos, L. (2006). “Pavimentos Rodoviários”. Almedina, Coimbra.
- COIMBRA@ (2014a). [goo.gl/779mIQ](http://goo.gl/779mIQ). Câmara Municipal de Coimbra (página oficial), Coimbra.
- COIMBRA@ (2014b). [goo.gl/5xrBmx](http://goo.gl/5xrBmx). Câmara Municipal de Coimbra (página oficial), Coimbra.
- Ferreira, A. (2001). “Optimização da Conservação de Pavimentos de Redes Rodoviárias”. Tese de Doutorado, Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Coimbra, Coimbra, 1 vol.
- Ferreira, A. (2011). “New Developments in Pavement Maintenance”. Transport, Institution of Civil Engineers, Vol. 164, Issue 3, pp. 153-155.
- Ferreira, A. (2013). “Gestão Rodoviária: os Desenvolvimentos Necessários nos Próximos Anos”, *Revista Estradas*, Vol. 18, Issue 1, pp. 11-16.
- Ferreira, A. e Duarte, A. (2007). "A GIS-Based Integrated Infrastructure Management System for Local Municipalities", *Proceedings of the 5th International Conference Geomatica 2007*, CD Ed., paper GEO-212, pp. 1-11, Havana, Cuba.
- Ferreira, A. e Meneses, S. (2006). "O Sistema de Gestão da Conservação dos Pavimentos da Rede Rodoviária de Oliveira do Hospital", *4.º Congresso Rodoviário Português*, CD Ed., Adelino\_Susana.pdf, pp. 1-10, Lisboa, Portugal.
- Ferreira, A. e Meneses, S. (2007). "A GIS-Based Pavement Management System for Oliveira do Hospital's Road Network ", *Proceedings of the 5th International Conference Geomatica 2007*, CD Ed., paper GEO-213, pp. 1-11, Havana, Cuba.
- Ferreira, A. e Picado-Santos, L. (2007). “Análise de Modelos de Comportamento para utilização em sistemas de Gestão de Pavimentos” 14º congresso Ibero-Latino americano del Asfalto, CD Ed., pp 1-14, Havana, Cuba.
- Ferreira, A., Antunes, A. e Picado-Santos, L. (2012). “Probabilistic Segment-linked Pavement Management Optimization Model”. *Journal of Transportation Engineering*, Vol. 128, Issue 6, pp. 568-577.
- Ferreira, A. Meneses, S. e Vicente, F. (2009a). “Pavement management system for Oliveira do Hospital, Portugal”. *Institution of Civil Engineers*, Vol. 162, Issue 3, pp. 157-169.

- Ferreira, A., Meneses, S. e Vicente, F. (2009b). "Alternative decision-aid tool for pavement management", Institution of Civil Engineers, Vol. 162 Issue 1, pp. 3-17.
- Ferreira, A., Oliveira, V., Paiva, P. e Rocha B. (2014a). "Iroad - Sistema de aquisição de dados de qualidade das infraestruturas rodoviárias", 2.º Congresso de Ciência e Desenvolvimento dos Açores, CD Ed., pp. 1-11, Terceira, Açores, Portugal.
- Ferreira, A., Paiva, P. e Rocha B. (2014b), SIGPAV. "Sistema de gestão da conservação de infraestruturas rodoviárias, 2.º Congresso de Ciência e Desenvolvimento dos Açores", CD Ed., pp. 1-9, Terceira, Açores, Portugal.
- Ferreira, A., Picado-Santos, L., Wu, Z. e Flintsch, G. (2011). "Selection of pavement performance models for use in the Portuguese PMS", *International Journal of Pavement Engineering*, Vol. 12, Issue 1, pp. 87-97.
- Figueiredo, J. (2008). "Avaliação da qualidade de pavimentos rodoviários". Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Coimbra, Coimbra, 1vol.
- Fwa, T., Chan, W. e Hoque, K. (2000). "Multiobjective Optimization for Pavement Maintenance Programming". *Journal of Transportation Engineering*, Vol. 126, Issue 5, pp. 367-374.
- Haas, R., Hudson, R. W. e Zaniewski, J. (1994). "Modern Pavement Management". Kruger Publishing Company Malabar, Florida.
- International Study of Highway Development and Management Tools (ISOHDM), (1995). "Modelling Road Deterioration and Maintenance Effects in HDM-4". Final report, Lea International Ltd. Canada.
- Jorge, D. (2010). "Road Network Pavement Maintenance Optimization". Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Coimbra, Coimbra, 1vol. (em Inglês).
- Jorge, D. e Ferreira, A. (2012). "Road Network Pavement Maintenance Optimisation using the HDM4 Pavement Performance Prediction Models". *International Journal of Pavement Engineering*, Vol.13, Issue 1, pp. 39-51.
- Markow, M. (1995). "Highway management systems: state of the art". *ASCE-Journal of Infrastructure Systems*, Vol. 1, Issue 3, pp. 186-191.
- Meneses, S. e Ferreira, A. (2004). "Implementação de um Sistema de Gestão da Conservação de Pavimentos para o Município de Oliveira do Hospital", 3.º Congresso Rodoviário Português, CD Ed., pavimentos\_30.pdf, pp. 1-10, Lisboa, Portugal.
- Meneses, S. e Ferreira, A. (2013). "Pavement maintenance programming considering two objectives: maintenance costs and user costs", *International Journal of Pavement Engineering*, Vol. 14, Issue 2, pp. 206-221.
- Ohio Department of Transportation (ODOT), (2004). "Pavement Condition Rating". Office of Pavement Engineering, Ohio.

- Oliveira, V. (2014). “Solução Mobile Georreferenciada”. Relatório final de estágio, Departamento de Engenharia Informática da Universidade de Coimbra, Coimbra, 1 vol.
- Paterson, D. (1987). “Pavement Management Practices”. Transportation Research Board, Washington D.C.
- Pereira, P. e Miranda, C. (1999). “Gestão da Conservação dos Pavimentos Rodoviários”. Universidade do Minho, Braga.
- Picado-Santos, L., Ferreira, A. e Pereira, P. (2006). "Estruturação de um Sistema de Gestão de Pavimentos para uma Rede Rodoviária de Carácter Nacional", Engenharia Civil, Universidade do Minho, N.º 26, pp. 45-59.
- Picado-Santos, L., Ferreira, A., Antunes, A., Carvalheira, C., Santos, B., Bicho, M. H., Quadrado, I. e Silvestre, S. (2004). “Pavement Management System for Lisbon”, *Municipal Engineer, Institution of Civil Engineers*, Vol.157, Issue 3, pp. 157-165.
- Rodrigues, J. (2002). “Gestão de Empreendimentos – A Componente de Gestão da Engenharia”. Ediliber, Coimbra.
- Santos, J. e Ferreira, A. (2013). “Life-Cycle Cost Analysis System for Pavement Management at Project Level”. *International Journal of Pavement Engineering*, Vol. 14, Issue 1, pp. 71-84.
- Thompson, P. (1994). “Making Optimization Practical in Pavement Management Systems” *Proceedings of the 3rd International Conference on Managing Pavements*, Vol. 2, Issue 1, pp. 184-189, Washington D.C, EUA.
- Visconti, S. (2000). “O Sistema Gerencial de Pavimentos do Departamento do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem”. Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Brasília.
- Wu, Z. e Flintsch, G. (2009). “Pavement Preservation Optimization Considering Multiple Objectives e Budget Variability”. *Journal of Transportation Engineering*, Vol. 135, Issue 5, pp. 305-315.



## ANEXO A

Trecho	ID	Sentido	Largura média da Secção (m)	Extensão (m)	Classe	TMDA
1a	1001a0117	Casa do Sal - Fucoli	7	753,7	VC	14090
1b	1001b0117	Fucoli - Casa do Sal	7	681,6	VC	18860
2a	1002a0118	Fucoli - Coselhas	7,5	243,9	VC	10220
2b	1002b0118	Coselhas - Fucoli	7,5	244,7	VC	8290
3a	1003a0118	Circular Ext 1 - Rotunda	7,5	1512	VC	10220
3b	1003b0118	Rotunda - Circular Ext 1	7,5	1520,5	VC	8290
4a	1004a0118	Rotunda - Túnel	7,5	2059,7	VC	10220
4b	1004b0118	Túnel - Rotunda	7,5	2112	VC	8290
5a	1005a0418	Túnel - PSP	7,5	892,4	VC	9640
5b	1005b0418	PSP - Túnel	7,5	895	VC	9790
6a	2006a0418	PSP - Rot. Artur Paredes	6,5	266,3	DP	15370
6b	2006b0418	Rot. Artur Paredes - PSP	6,5	270,8	DP	12550
7a	2007a0518	Rot. Artur Paredes - Av. Fernando Namora 1	6,5	302,5	DP	14550
7b	2007b0518	Av. Fernando Namora 1 - Rot. Artur Paredes	6,5	301,3	DP	12430
8a	2008a0518	Av. Fernando Namora 1 - 2	6,5	397,7	DP	14550
8b	2008b0518	Av. Fernando Namora 2 - 1	6,5	400,9	DP	12430
9a	2009a0518	Av. Fernando Namora 2 - 3	6,5	467,3	DP	14550
9b	2009b0518	Av. Fernando Namora 3 - 2	6,5	481	DP	12430
10a	2010a0618	Via António Ferrer Correia - Rot. Parque Camp.	7	399,3	DP	6190
10b	2010b0618	Rot. Parque Camp. - Via António Ferrer Correia	7	400,8	DP	4670
11a	2011a0118	Rot. Parque Camp. - Rot. Portela	7	707,3	DP	9140
11b	2011b0118	Rot. Portela - Rot. Parque Camp.	7	677,7	DP	5170
12a	1012a0318	Rot. Portela - Rot. Boavista (IC3)	7	2516,7	VC	3690
12b	1012b0318	Rot. Boavista - Rot. Portela (IC3)	7	2596,8	VC	4250
13a	1013a0318	Rot. Boavista - Rot. Ponte	4	187	VC	5630
13b	1013b0318	Rot. Ponte - Rot. Boavista	4	204,1	VC	3020
14a	2014a0902	Rot. Ponte - Av. Urbano Duarte	7	773	DP	6470
14b	2014b0902	Av. Urbano Duarte - Rot. Ponte	7	523,4	DP	8990
15a	2015a1102	Rua do Brasil	6	618,6	DP	11560
15b	2015b1102	Av. da Lousã	7	847,8	DP	13430
16a	2016a1119	Av. da Lousã - Portagem	7	468,6	DP	11560
16b	2016b1119	Portagem - Av. da Lousã	7	462	DP	13430
17a	2017a1119	Portagem - Estação Nova	7	254,5	DP	8240
17b	2017b1119	Estação Nova - Portagem	7	305,9	DP	9820

Trecho	ID	Sentido	Largura média da secção (m)	Extensão (m)	Classe	TMDA
18a	2018a1219	Estação Nova - Av. Fernão Magalhães 1	7	126,2	DP	8240
18b	2018b1219	Av. Fernão Magalhães 1 - Estação Nova	7	146,3	DP	9820
19a	2019a1217	Av. Fernão Magalhães 1 - Arnado	5,5	429,6	DP	5900
19b	2019b1217	Arnado - Av. Fernão Magalhães 1	5,5	419,6	DP	7080
20a	2020a1217	Arnado - Av. Fernão Magalhães 2	6,5	330,5	DP	8660
20b	2020b1217	Av. Fernão Magalhães 2 - Arnado	6,5	325,2	DP	8500
21a	2021a1217	Av. Fernão Magalhães 3 - Casa do Sal	6,5	314,3	DP	8660
21b	2021b1217	Casa do Sal - Av. Fernão Magalhães	6,5	288,6	DP	8500
22a	2022a1318	Fucoli - Av. Gouveia Monteiro	6,5	986,5	VC	9890
22b	2022b1318	Av. Gouveia Monteiro - Fucoli	6,5	977,4	VC	14540
23a	2023a1318	Av. Gouveia Monteiro - Hospital Pediátrico	6,5	637	DP	4260
23b	2023b1318	Hospital Pediátrico - Av. Gouveia Monteiro	6,5	598,7	DP	4680
24a	2024a1318	Hospital Pediátrico - Rot. Curso Médico	6,5	275,3	DP	4260
24b	2024b1318	Rot. Curso Médico - Hospital Pediátrico	6,5	248,8	DP	4680
25a	2025a1318	Rot. Curso Médico - Rua Afrânio Peixoto	6,5	139,8	DP	4260
25b	2025b1318	Rua Afrânio Peixoto - Rot. Curso Médico	6,5	148,6	DP	4680
26a	2026a1318	Rua Afrânio Peixoto - Túnel	6	748,9	DP	5350
26b	2026b1318	Túnel - Rua Afrânio Peixoto	6	767,3	DP	4080
27a	2027a1318	Túnel - Av. António Portugal	6	934,5	DP	10750
27b	2027b1318	Av. António Portugal - Túnel	6	922,6	DP	5550
28a	2028a1318	Rot. Quinta da Maia - PSP	6	247	DP	5880
28b	2028b1318	PSP - Rot. Quinta da Maia	6	238,7	DP	3050
29a	2029a1418	Av. Mendes da Silva 1 - 2	7	349,9	DP	7050
29b	2029b1418	Av. Mendes da Silva 2 - 1	7	323	DP	6550
30a	2030a1418	Av. Mendes da Silva 2 - Rot. Leroy Merlin	7	250,7	DP	9470
30b	2030b1418	Rot. Leroy Merlin - Av. Mendes da Silva 2	7	262,1	DP	10560
31a	2031a1418	Rot. Leroy Merlin - Rot. Bombeiros	7	545,9	DP	14220
31b	2031b1418	Rot. Bombeiros - Rot. Leroy Merlin	7	525,8	DP	12810
32a	2032a1418	Rot. Bombeiros - Ponte Rainha Santa	7	389	DP	16870
32b	2032b1418	Ponte Rainha Santa - Rot. Bombeiros	7	365,9	DP	14600
33a	2033a1418	Av. Mendes da Silva - Rot. Ponte	4	237,4	DP	4550
33b	2032b1418	Rot. Ponte - Av. Mendes da Silva	6	283,9	DP	5000

**ANEXO B**

Trecho	Fend. (m <sup>2</sup> /100m <sup>2</sup> )	P.C. (m <sup>2</sup> /100m <sup>2</sup> )	Cov. (m <sup>2</sup> /100m <sup>2</sup> )	Pel. (m <sup>2</sup> /100m <sup>2</sup> )	Rep. (m <sup>2</sup> /100m <sup>2</sup> )	Rod. (mm)	IRI (mm/km)	PSI
1a	2,56	0,00	0,02	0,00	5,50	1,86	2447,79	3,67
1b	2,21	0,00	0,00	0,00	0,12	2,46	2725,79	3,86
2a	0,41	0,00	0,00	0,00	0,00	1,11	2000,00	4,26
2b	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	2,76	2000,00	4,35
3a	7,54	0,00	0,00	0,00	0,08	0,53	2505,95	3,67
3b	7,87	0,00	0,00	0,00	0,08	0,23	2503,12	3,66
4a	7,91	0,00	0,00	0,00	0,00	0,74	2289,12	3,72
4b	3,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,37	2225,24	3,91
5a	0,71	0,00	0,00	0,00	0,14	0,54	2000,00	4,20
5b	7,54	1,17	0,00	0,00	0,02	0,96	2000,00	3,77
6a	38,05	0,00	0,12	0,00	0,53	4,13	2844,91	2,84
6b	16,92	0,00	0,00	0,00	0,22	1,30	3379,25	3,14
7a	9,94	0,00	0,10	0,00	0,17	5,03	2416,53	3,59
7b	2,00	0,00	0,00	0,00	0,08	4,34	2503,32	3,94
8a	1,63	0,00	0,00	0,04	0,36	4,93	3037,21	3,79
8b	1,95	0,00	0,00	0,00	1,05	5,71	3028,93	3,73
9a	0,42	0,00	0,00	0,00	0,09	4,74	3182,32	3,90
9b	0,88	0,00	0,03	0,00	0,24	1,99	3148,65	3,85
10a	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,19	2185,20	4,32
10b	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	4,46	2187,13	4,27
11a	2,95	0,67	0,00	0,00	3,10	8,75	2173,90	3,76
11b	3,21	0,00	0,02	0,00	0,10	8,05	2181,50	3,92
12a	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	4,13	2000,00	4,25
12b	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11	2000,00	4,33
13a	0,48	0,00	0,00	0,00	0,00	8,82	2256,68	4,13
13b	0,00	0,00	0,00	0,00	0,49	6,27	2235,18	4,16
14a	32,02	0,00	0,00	0,00	0,82	2,29	2609,70	3,01
14b	33,52	1,33	0,00	0,00	0,08	7,31	2183,42	3,07
15a	33,53	0,55	0,04	0,00	1,51	2,79	3058,68	2,84
15b	2,61	2,35	0,00	0,00	0,00	2,35	2909,47	3,67
16a	4,46	0,63	0,00	0,00	0,70	5,69	4847,95	3,13
16b	1,31	0,00	0,00	0,04	1,91	1,08	3500,00	3,60
17a	11,12	0,00	0,00	0,00	0,00	8,01	3087,43	3,36
17b	3,33	4,74	0,00	0,00	3,44	6,36	2910,10	3,40

Trecho	Fend. (m <sup>2</sup> /100m <sup>2</sup> )	P.C. (m <sup>2</sup> /100m <sup>2</sup> )	Cov. (m <sup>2</sup> /100m <sup>2</sup> )	Pel. (m <sup>2</sup> /100m <sup>2</sup> )	Rep. (m <sup>2</sup> /100m <sup>2</sup> )	Rod. (mm)	IRI (mm/km)	PSI
18a	10,05	1,74	0,03	0,07	5,31	3,02	3500,00	3,11
18b	3,34	0,00	0,00	0,00	0,00	3,08	2000,00	4,00
19a	0,34	0,00	0,00	0,00	0,04	5,15	2000,00	4,25
19b	0,85	0,00	0,00	0,00	0,00	7,79	2000,00	4,16
20a	2,49	0,00	0,00	0,00	2,03	4,48	3182,30	3,61
20b	2,03	0,58	0,05	0,00	3,24	7,35	3248,15	3,51
21a	3,30	0,00	0,00	0,00	0,16	5,21	3213,65	3,65
21b	0,85	0,00	0,01	0,00	0,99	2,55	3313,41	3,74
22a	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,43	2000,00	4,33
22b	0,26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,64	2000,00	4,28
23a	23,90	14,09	0,01	0,03	0,89	7,68	2831,24	2,82
23b	15,25	0,00	0,03	0,11	0,80	10,26	2884,42	3,24
24a	0,45	0,00	0,00	0,00	0,18	5,46	2871,78	3,97
24b	0,31	0,00	0,00	0,00	0,64	5,00	2964,63	3,91
25a	37,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,00	2000,00	3,10
25b	44,17	0,00	0,00	0,00	0,64	5,00	2000,00	2,97
26a	19,66	6,78	0,00	0,19	1,30	6,87	5500,00	2,36
26b	29,26	5,29	0,00	0,09	2,52	8,73	5500,00	2,18
27a	4,56	1,29	0,00	0,00	0,92	8,31	3500,00	3,40
27b	20,56	1,80	0,00	0,00	0,68	8,85	3500,00	2,93
28a	3,32	1,76	0,00	0,00	0,32	6,59	2048,58	3,87
28b	4,19	0,00	0,00	0,13	0,00	6,93	2050,27	3,91
29a	0,42	0,00	0,00	0,00	0,00	8,68	2000,00	4,21
29b	5,02	0,00	0,00	0,00	0,00	12,29	2000,00	3,84
30a	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,74	2000,00	4,06
30b	1,58	0,00	0,00	0,00	0,00	7,83	2000,00	4,09
31a	0,40	0,00	0,00	0,00	0,25	8,93	2043,96	4,17
31b	3,51	0,00	0,00	0,00	0,10	12,05	2121,72	3,88
32a	0,75	0,00	0,00	0,00	0,72	1,72	2269,92	4,06
32b	0,19	0,00	0,00	0,00	0,32	7,94	2286,96	4,13
33a	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,32	2000,00	4,36
33b	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	8,50	2000,00	4,28

## ANEXO C

Trecho	Fend. (m <sup>2</sup> /100m <sup>2</sup> )	P.C. (m <sup>2</sup> /100m <sup>2</sup> )	Cov. (m <sup>2</sup> /100m <sup>2</sup> )	Pel. (m <sup>2</sup> /100m <sup>2</sup> )	Rep. (m <sup>2</sup> /100m <sup>2</sup> )	Rod. (mm)	IRI (mm/km)	PSI
1a	2,56	0,00	0,02	0,00	5,50	1,86	2447,79	3,67
1b	2,21	0,00	0,00	0,00	0,12	2,46	2725,79	3,86
2a	0,41	0,00	0,00	0,00	0,00	1,11	2000,00	4,26
2b	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	2,76	2000,00	4,35
3a	7,54	0,00	0,00	0,00	0,08	0,53	2505,95	3,67
3b	7,87	0,00	0,00	0,00	0,08	0,23	2503,12	3,66
4a	7,91	0,00	0,00	0,00	0,00	0,74	2289,12	3,72
4b	3,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,37	2225,24	3,91
5a	0,71	0,00	0,00	0,00	0,14	0,54	2000,00	4,20
5b	7,54	1,17	0,00	0,00	0,02	0,96	2000,00	3,77
6a	0,00	0,00	0,12	0,00	0,53	4,13	2844,91	3,98
6b	0,00	0,00	0,00	0,00	0,22	1,30	3379,25	3,91
7a	9,94	0,00	0,10	0,00	0,17	5,03	2416,53	3,59
7b	2,00	0,00	0,00	0,00	0,08	4,34	2503,32	3,94
8a	1,63	0,00	0,00	0,04	0,36	4,93	3037,21	3,79
8b	1,95	0,00	0,00	0,00	1,05	5,71	3028,93	3,73
9a	0,42	0,00	0,00	0,00	0,09	4,74	3182,32	3,90
9b	0,88	0,00	0,03	0,00	0,24	1,99	3148,65	3,85
10a	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,19	2185,20	4,32
10b	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	4,46	2187,13	4,27
11a	2,95	0,67	0,00	0,00	3,10	8,75	2173,90	3,76
11b	3,21	0,00	0,02	0,00	0,10	8,05	2181,50	3,92
12a	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	4,13	2000,00	4,25
12b	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11	2000,00	4,33
13a	0,48	0,00	0,00	0,00	0,00	8,82	2256,68	4,13
13b	0,00	0,00	0,00	0,00	0,49	6,27	2235,18	4,16
14a	0,00	0,00	0,00	0,00	0,82	2,29	2609,70	4,03
14b	0,00	1,33	0,00	0,00	0,08	7,31	2183,42	4,06
15a	0,00	0,55	0,04	0,00	1,51	2,79	3058,68	3,79
15b	2,61	2,35	0,00	0,00	0,00	2,35	2909,47	3,67
16a	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2000,00	4,39
16b	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2000,00	4,39
17a	11,12	0,00	0,00	0,00	0,00	8,01	3087,43	3,36
17b	3,33	4,74	0,00	0,00	3,44	6,36	2910,10	3,40

Trecho	Fend. (m <sup>2</sup> /100m <sup>2</sup> )	P.C. (m <sup>2</sup> /100m <sup>2</sup> )	Cov. (m <sup>2</sup> /100m <sup>2</sup> )	Pel. (m <sup>2</sup> /100m <sup>2</sup> )	Rep. (m <sup>2</sup> /100m <sup>2</sup> )	Rod. (mm)	IRI (mm/km)	PSI
18a	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2000,00	4,39
18b	3,34	0,00	0,00	0,00	0,00	3,08	2000,00	4,00
19a	0,34	0,00	0,00	0,00	0,04	5,15	2000,00	4,25
19b	0,85	0,00	0,00	0,00	0,00	7,79	2000,00	4,16
20a	2,49	0,00	0,00	0,00	2,03	4,48	3182,30	3,61
20b	2,03	0,58	0,05	0,00	3,24	7,35	3248,15	3,51
21a	3,30	0,00	0,00	0,00	0,16	5,21	3213,65	3,65
21b	0,85	0,00	0,01	0,00	0,99	2,55	3313,41	3,74
22a	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,43	2000,00	4,33
22b	0,26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,64	2000,00	4,28
23a	0,00	0,00	0,01	0,03	0,89	7,68	2831,24	3,93
23b	0,00	0,00	0,03	0,11	0,80	10,26	2884,42	3,89
24a	0,45	0,00	0,00	0,00	0,18	5,46	2871,78	3,97
24b	0,31	0,00	0,00	0,00	0,64	5,00	2964,63	3,91
25a	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,00	2000,00	4,38
25b	0,00	0,00	0,00	0,00	0,64	5,00	2000,00	4,21
26a	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2000,00	4,39
26b	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2000,00	4,39
27a	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2000,00	4,39
27b	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2000,00	4,39
28a	3,32	1,76	0,00	0,00	0,32	6,59	2048,58	3,87
28b	4,19	0,00	0,00	0,13	0,00	6,93	2050,27	3,91
29a	0,42	0,00	0,00	0,00	0,00	8,68	2000,00	4,21
29b	5,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2000,00	3,92
30a	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,74	2000,00	4,06
30b	1,58	0,00	0,00	0,00	0,00	7,83	2000,00	4,09
31a	0,40	0,00	0,00	0,00	0,25	8,93	2043,96	4,17
31b	3,51	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	2121,72	3,96
32a	0,75	0,00	0,00	0,00	0,72	1,72	2269,92	4,06
32b	0,19	0,00	0,00	0,00	0,32	7,94	2286,96	4,13
33a	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,32	2000,00	4,36
33b	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	8,50	2000,00	4,28